

(52) CPC특허분류

H04B 7/0691 (2013.01)

H04B 7/0874 (2013.01)

H04W 16/32 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016-0-00500

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 정보보호핵심원천기술개발사업 창조씨앗형 R&D 2단계

연구과제명 암호와 물리계층보안을 결합한 IoT 네트워크 보안 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 미래창조과학부

연구기간 2017.01.01 ~ 2020.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

하나 이상의 스몰셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀에 있어서,

매크로셀 MIMO 안테나;

매크로셀 서클레이터; 및

매크로셀 제어부;를 포함하며,

상기 매크로셀 서클레이터는,

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀의 개수 S 에 해당하는 안테나를 송신에 사용하고, 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하고,

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수 S 에 해당하는 안테나를 수신에 사용하고, 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하고,

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 작은 경우,

상기 매크로셀 서클레이터는,

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하고,

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 매크로셀의 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 은, 하기 수학적 식 25로 구하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

[수학적 식 25]

$$M_{rx0} = \frac{2}{p_1 \hat{\beta}_{1k}} \left(\frac{p_2 \sigma_m^2 M_{tx} (p_2 \sigma_m^2 M_{tx} + 1) - Y}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1} \right)$$

(여기에서, $Y = p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} (p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1)$ 이고, p_1 은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신

전력이고, σ_m^2 은 매크로셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고,

$$\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}} \quad (A=1) \text{ 이고, } \tau_p \text{ 는 파일}$$

럿 시퀀스의 길이이고, p_τ 는 파일럿 전력이고, β_{1k} 는 대규모 페이딩 효과이다.)

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭(SI)의 세기가 자기간섭 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 보다 큰 경우,

상기 매크로셀 서클레이터는,

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하고,

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

매크로셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 하나 이상의 스몰셀에 있어서,

스몰셀 MIMO 안테나;

스몰셀 서클레이터; 및

스몰셀 제어부;를 포함하며,

상기 스몰셀 서클레이터는,

제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 송신에 사용하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하고,

제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 수신에 사용하고 나머지 N_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하고,

상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 가 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 보다 작은 경우,

상기 스몰셀 서클레이터는,

제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하고,

제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 스몰셀의 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 은, 하기 수학적 식 27로 구하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

[수학적 식 27]

$$N_{rx0} = \frac{2}{p_2 \hat{\beta}_{2k}^2} \left(\frac{p_1 \sigma_{t,k}^2 (p_1 \sigma_{t,k}^2 + 1) - Z}{2p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1} \right)$$

(여기에서, $\sigma_{t,k}^2 = \sigma_{s,k}^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2$ 이고, $Z = p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} (p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1)$ 이고, p_1

은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신 전력이고, $\sigma_{s,k}^2$ 는 스몰셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고, $\sigma_{c,kj}^2$

는 스몰셀간 간섭 채널의 세기이고, $\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}$ (A=2) 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이가

고, p_τ 는 파일럿 전력이고, β_{2k} 는 대규모 페이딩 효과이다.)

청구항 8

제2항 또는 제6항에 있어서,

상기 스몰셀의 개수 S 가 4 이상인 경우, 파일럿 길이 τ_p 는 상기 스몰셀 개수의 2배인 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

청구항 9

제2항 또는 제6항에 있어서,

파일럿 길이 τ_p 는 상기 스몰셀의 개수 S 의 2배 이상이고, 코히어런스 길이 T 이하인 값 중에서, 하기 수학식 32의 R_{SE} 값을 최대로 하는 값으로 선택하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템.

[수학식 32]

$$R_{SE} = \frac{T - \tau_p}{2T} \sum_{k=1}^S R_k$$

(여기에서, R_k 는 제1 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제1 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제2 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제2 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량을 모두 합한 값 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이이다.)

청구항 10

삭제

청구항 11

하나 이상의 스몰셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법에 있어서, 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀의 개수 S 에 해당하는 안테나를 송신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하는 단계;

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 M_{rx} 개의 안테나로 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;

상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수에 해당하는 안테나를 수신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 M_{rx} 개의 안테나를 이용하여 상기 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계;를 포함하고

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 와 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 을 비교하는 단계;

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 작은 경우,

상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계;

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계;

상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 및

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;를 더 포함

하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 매크로셀의 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 을 하기 수학식 25로 구하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

[수학식 25]

$$M_{rx0} = \frac{2}{p_1 \hat{\beta}_{1k}} \left(\frac{p_2 \sigma_m^2 M_{tx} (p_2 \sigma_m^2 M_{tx} + 1) - Y}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1} \right)$$

(여기에서, $Y = p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} (p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1)$ 이고, p_1 은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신

전력이고, σ_m^2 은 매크로셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고, $\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}}$ ($A=1$) 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이이고, p_τ 는 파일럿 전력이고, β_{ik} 는 대규모 페이딩 효과이다.)

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭의 세기와 자기간섭의 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 을 비교하는 단계;

상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭의 세기가 자기간섭의 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 보다 큰 경우,

상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계;

제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계;

상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 및

제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

매크로셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 하나 이상의 스몰셀의 통신방법에 있어서, 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 송신에 사용하도록 설정하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하는 단계;

제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 상기 N_{rx} 개의 안테나로 상기 매크로셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;

상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 수신에 사용하도록 설정하고 나머지 N_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및

제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 상기 N_{tx} 개의 안테나를 이용하여 상기 매크로셀로 데이터를 송신하는 단계;를 포함하고

상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 와 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 을 비교하는 단계;

상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 가 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 보다 작은 경우,

상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계;

제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 이용하여 상기 매크로셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;

상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및

제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 이용하여 상기 매크로셀로 데이터를 송신하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 스몰셀의 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 을 하기 수학적 식 27로 구하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

[수학적 식 27]

$$N_{rx0} = \frac{2}{p_2 \hat{\beta}_{2k}} \left(\frac{p_1 \sigma_{t,k}^2 (p_1 \sigma_{t,k}^2 + 1) - Z}{2 p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1} \right)$$

(여기에서, $\sigma_{t,k}^2 = \sigma_{s,k}^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2$ 이고, $Z = p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} (p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1)$ 이고, p_1

은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신 전력이고, $\sigma_{s,k}^2$ 는 스몰셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고, $\sigma_{c,kj}^2$

는 스몰셀간 간섭 채널의 세기이고, $\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}}$ (A=2) 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이이고, p_τ 는 파일럿 전력이고, β_{2k} 는 대규모 페이딩 효과이다.)

청구항 17

제11항 또는 제15항에 있어서,

상기 스몰셀의 개수 S 가 4 이상인 경우, 파일럿 길이 τ_p 를 상기 스몰셀 개수의 2배로 설정하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

청구항 18

제11항 또는 제15항에 있어서,

파일럿 길이 τ_p 를 상기 스몰셀의 개수 S 의 2배 이상이고 코히어런스 길이 T 이하인 값 중에서, 하기 수학적 식 32의 R_{SE} 값을 최대로 하는 값으로 선택하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법.

[수학적 식 32]

$$R_{SE} = \frac{T - \tau_p}{2T} \sum_{k=1}^S R_k$$

(여기에서, R_k 는 제1 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제1 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제2 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량

과 제2 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량을 모두 합한 값 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이이다.)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 임계 안테나 수 이상의 안테나를 가진 경우 전이중 모드로 통신하고, 임계 안테나 수 이하의 안테나를 가진 경우 반이중 모드로 통신할 수 있는 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 계속 증가하는 무선 데이터의 수요에 맞추기 위하여, 몇 가지 고급 통신 기술들이 개발 중이다. 이러한 기술들 중에서 대규모 MIMO(massive multiple- input multiple-output ; massive MIMO), 전이중(full-duplex; FD) 통신, 이종 네트워크(heterogeneous network, HetNet) 등이 떠오르고 있다.

[0003] 대규모 MIMO(massive MIMO)는 고객 단말기(user terminals; UTs) 수 보다 훨씬 많은 수백 개의 안테나 열을 가진 기지국들(base stations; BSs)을 포함한다. 많은 안테나 열은 목적하는 고객 단말기에 정밀하게 초점을 맞추어 에너지를 방출할 수 있어서, 에너지 효율(energy efficiency; EE)에서 상당한 개선을 가져온다. 또한, 대규모 MIMO를 이용하면, 노이즈 영향을 상당히 줄일 수 있고, 고속 페이딩(fast fading)과 간섭을 제거할 수 있으며, 주파수 효율(spectral efficiency; SE)을 증가시킬 수 있다.

[0004] 동일대역(in band) 전이중(FD) 통신은 통신연구 분야에서 수많은 관심을 불러일으키는 또 다른 기술이다. FD 시스템에서, 기지국(BS) 송수신기(transceiver)는 송신과 수신을 같은 주파수 대역을 이용하여 동시에 한다. 그 결과 채널 용량이 이론적으로는 반이중(half-duplex; HD) 통신보다 두배가 된다. 그러나, 잠재적으로 채널 용량이 두배가 되는 대신에, 송신 신호의 누설이 수신 신호에 영향을 미치는 자기 간섭(SI)이 발생한다. 따라서 SI를 상쇄하기 위해 추가적인 공간적, 시간적 기술들이 필요하다.

[0005] 한편, FD를 이용한 대규모 MIMO의 경우, 복잡한 SI 제거 방법을 사용하지 않아도, 안테나 수가 무한히 늘어남에 따라 SI가 점차적으로 감소한다.

[0006] 정보를 송수신할 수 있는 범위인 커버리지를 효율적으로 제공하기 위해 전통적으로 셀형태(cellular)의 네트워크가 효율적으로 사용되었다. 그러나, 고객단말기(UTs) 수가 증가함에 따라, 에너지효율(EE)과 주파수효율(SE)은 급격히 감소한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 이종 네트워크(HetNet)가 연구되고 있다.

[0007] 이종 네트워크(HetNet)는 고출력 대형 매크로셀(macro cell; MC) 안에 다수의 저출력 소형 스몰셀들(small cells; SCs)이 중첩되는 다중셀 구조를 가진다. 이종 네트워크는 대부분의 통신이 지역적으로 일어나고, 서비스 요청은 거의 이동이 없는 정지된 고객단말기에 의해 일어난다는 사실을 이용한다. 이종 네트워크를 구현하면, 고객 단말기(USs)와 기지국(BSs) 간의 거리는 감소하게 되므로, 경로 손실이 줄고, 배터리 소모를 줄일 수 있으며, 결국 에너지효율(EE)과 주파수효율(SE)을 늘릴 수 있다.

[0008] 이종 네트워크는 스몰셀(SCs)의 데이터 전송 뿐만 아니라, 스몰셀(SCs)과 매크로셀(MC)간의 제어 및 조정을 위해서, 고속 백홀 링크(backhaul link)를 사용한다. 광통신은 백홀 링크에 요구되는 신뢰성 있고, 높은 데이터 전송률을 제공한다. 그러나, 모든 스몰셀(SC)에 광케이블을 설치하는 것은 굉장히 힘든 일이고, 비용이 많이 들고, 유동적 대응이 어렵다. 따라서, 대규모 MIMO 매크로셀(MC)이 단일 안테나를 가진 이동하는 고객 단말기(UTs)와 다수의 단일 안테나를 가진 스몰셀들(SCs)에 서비스를 제공하는 2단계(2-tier) 이종 네트워크에서 무선 백홀이 연구되고 있다.

[0009] 등록특허공보 제10-1802078호 “가변적 전이중 방식을 사용하는 무선 통신 시스템 및 그것을 이용한 통신 성능 향상 방법”에서는, 중계 노드에서 채널 상태를 검출하고 비교하여 임계치에 따라 전이중(FD) 방식과 반이중(HD) 방식을 선택하여 통신함으로써 전력소모를 줄이고 통신 성능을 향상 시키는 방법이 개시되어 있다. 다만 중계 노드를 사용하는 협력통신에 관한 것으로 이종 네트워크의 백홀링크에 대한 것이 아니다.

[0010] 공개특허공보 제10-2017-0113225호 “Massive MIMO를 이용한 전이중 무선 백홀 시스템”에서는 대규모 MIMO 안테나를 구비하는 기지국들 간의 백홀링크 신호 전송방법에서 통신 상태를 모니터링 하여 안테나 중 일부를 수신 모드로 또는 송신 모드로 변환하는 방법이 개시되어 있다. 다만, 통신 방법이 전이중(FD) 방식으로 이루어지고

반이중(HD) 방식은 고려하지 않고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-1802078호 “가변적 전이중 방식을 사용하는 무선 통신 시스템 및 그것을 이용한 통신 성능 향상 방법”
- (특허문헌 0002) 공개특허공보 제10-2017-0113225호 “Massive MIMO를 이용한 전이중 무선 백홀 시스템”

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 목적은, 이종 네트워크에서 백홀링크 기지국의 합계 채널용량이 우수하도록 전이중/반이중 모드를 선택하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [0013] 본 발명의 목적은, 이종 네트워크에서 백홀링크 기지국의 합계 채널용량이 우수하면서도 송신 전력이 적은 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [0014] 본 발명의 목적은, 이종 네트워크에서 백홀링크 기지국의 합계 채널용량이 우수하도록 대규모 MIMO 안테나 중 수신에 사용되는 안테나 수에 따라 전이중/반이중 모드를 선택하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [0015] 본 발명의 또 다른 목적은, 주파수 효율을 최대로 할 수 있는 최적의 파일럿 길이를 선택하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [0016] 본 발명의 목적은 이상에서 언급된 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기 목적을 이루기 위한 하나의 양태에 따르면, 본 발명은 하나 이상의 스몰셀과 무선백홀 링크를 가지는 이종 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀에 있어서, 매크로셀 MIMO 안테나와 매크로셀 서클레이터와 매크로셀 제어부를 포함한다.
- [0018] 상기 매크로셀 서클레이터는, 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수 S 에 해당하는 안테나를 송신에 사용하고, 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하고, 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수 S 에 해당하는 안테나를 수신에 사용하고, 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정한다.
- [0019] 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 작은 경우, 상기 매크로셀 서클레이터는, 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하고, 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정할 수 있다.
- [0020] 상기 매크로셀의 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 은, 수학식 25로 구할 수 있다.

[0021] [수학식 25]

$$M_{rx0} = \frac{2}{p_1 \hat{\beta}_{1k}} \left(\frac{p_2 \sigma_m^2 M_{tx} (p_2 \sigma_m^2 M_{tx} + 1) - Y}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1} \right)$$

[0022] (여기에서, $Y = p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} (p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1)$ 이고, p_1 은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신

전력이고, σ_m^2 은 매크로셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고, $\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}}$ (A=1) 이고, τ_p 는 파일

릿 시퀀스의 길이이고, p_τ 는 파일럿 전력이고, β_{1k} 는 대규모 페이딩 효과이다.)

[0023] 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭(SI)의 세기가 자기간섭 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 보다 큰 경우, 상기 매크로셀 서클레이터는, 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하고, 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정할 수 있다.

[0024] 상기 목적을 이루기 위한 다른 양태에 따르면, 본 발명은 매크로셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 하나 이상의 스몰셀에 있어서, 스몰셀 MIMO 안테나와 스몰셀 서클레이터와 스몰셀 제어부를 포함한다.

[0025] 상기 스몰셀 서클레이터는, 제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 송신에 사용하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하고, 제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 수신에 사용하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정한다.

[0026] 상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 가 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 보다 작은 경우, 상기 스몰셀 서클레이터는, 제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하고, 제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정할 수 있다.

[0027] 상기 스몰셀의 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 은, 수학식 27로 구할 수 있다.

[0028] [수학식 27]

$$N_{rx0} = \frac{2}{p_2 \hat{\beta}_{2k}} \left(\frac{p_1 \sigma_{t,k}^2 (p_1 \sigma_{t,k}^2 + 1) - Z}{2p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1} \right)$$

[0029] (여기에서, $\sigma_{t,k}^2 = \sigma_{s,k}^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2$ 이고, $Z = p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} (p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1)$ 이고, p_1 은 스몰셀 송신 전력이고, p_2 는 매크로셀 송신 전력이고, $\sigma_{s,k}^2$ 는 스몰셀 내의 자기간섭 채널의 세기이고, $\sigma_{c,kj}^2$ 는 스몰셀간 간섭 채널의 세기이고,

$$\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}} \quad (A=2) \text{ 이고, } \tau_p \text{ 는 파일럿 시퀀스의 길이이고, } p_\tau \text{ 는 파일럿 전력이고, } \beta_{2k} \text{ 는 대규모 페이딩 효과이다.)$$

[0030] 상기 매크로셀 또는 스몰셀은, 상기 스몰셀의 개수 S 가 4 이상인 경우, 파일럿 길이 τ_p 는 상기 스몰셀 개수의 2배로 할 수 있다.

[0031] 상기 매크로셀 또는 스몰셀은, 파일럿 길이 τ_p 는 상기 스몰셀 개수 S 의 2배 이상이고, 코히어런스 길이 T 이 하인 값 중에서, 수학식 32의 R_{SE} 값을 최대로 하는 값으로 선택할 수 있다.

[0032] [수학식 32]

$$R_{SE} = \frac{T - \tau_p}{2T} \sum_{k=1}^S R_k$$

[0033] (여기에서, R_k 는 제1 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제1 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제2 시구간에서의 매크로셀의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량과 제2 시구간에서의 k 번째 스몰셀에서의 전이중 무선 백홀링크의 채널용량을 모두 합한 값 이고, τ_p 는 파일럿 시퀀스의 길이이다.)

[0034] 상기 목적을 이루기 위한 또 다른 양태에 따르면, 본 발명은 하나 이상의 스몰셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 매크로셀의 통신방법에 있어서, 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수에 해당하는 안테나를 송신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 M_{rx} 개의 안테나로 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계; 상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 스몰셀 개수에

해당하는 안테나를 수신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 상기 M_{tx} 개의 안테나를 이용하여 상기 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계;를 포함한다.

[0035] 상기 매크로셀의 통신방법은, 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 와 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 을 비교하는 단계; 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 작은 경우, 상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계; 상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 및 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0036] 상기 매크로셀의 통신방법은, 상기 매크로셀의 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 을 수학적 25로 구하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0037] 상기 매크로셀의 통신방법은, 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭의 세기와 자기간섭의 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 을 비교하는 단계; 상기 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 자기간섭의 세기가 자기간섭의 임계값 $\sigma_{m,0}^2$ 보다 큰 경우, 상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 제1 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신하는 단계; 상기 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 및 제2 시구간에서 상기 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0038] 상기 목적을 이루기 위한 또 다른 양태에 따르면, 본 발명은 매크로셀과 무선백홀 링크를 가지는 이중 셀룰러 네트워크 시스템의 하나 이상의 스몰셀의 통신방법에 있어서, 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 송신에 사용하도록 설정하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 상기 N_{rx} 개의 안테나로 상기 매크로셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계; 상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 수신에 사용하도록 설정하고 나머지 N_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및 제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 상기 N_{tx} 개의 안테나를 이용하여 상기 매크로셀로 데이터를 송신하는 단계;를 포함한다.

[0039] 상기 스몰셀의 통신방법은, 상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 와 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 을 비교하는 단계; 상기 제1 시구간에서, 스몰셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 N_{rx} 가 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 보다 작은 경우, 상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하는 단계; 제1 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 이용하여 상기 매크로셀에서 송신된 데이터를 수신하는 단계; 상기 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하는 단계; 및 제2 시구간에서 상기 스몰셀 MIMO 안테나를 이용하여 상기 매크로셀로 데이터를 송신하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0040] 상기 스몰셀의 통신방법은, 상기 스몰셀의 수신 안테나 임계값 N_{rx0} 을 수학적 27로 구하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0041] 상기 매크로셀 또는 스몰셀의 통신방법은, 상기 스몰셀의 개수 S 가 4 이상인 경우, 파일럿 길이 τ_p 를 상기 스몰셀 개수의 2배로 설정하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0042] 상기 매크로셀 또는 스몰셀의 통신방법은, 파일럿 길이 τ_p 를 상기 스몰셀 개수 S 의 2배 이상이고 코히어런스 길이 T 이하인 값 중에서, 수학적 32의 R_{SE} 값을 최대로 하는 값으로 선택하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0043] 본 발명에 따른 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법은 합계 채널용량이 우수하여 양호한 통신 품질을 유지할 수 있다.

[0044] 본 발명에 따른 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법은 제1 시구간에 다수의 수신 안테나를

사용하고 제2 시구간에 다수의 송신 안테나를 사용하여 적은 송신 전력으로도 양호한 통신 품질을 유지할 수 있다.

[0045] 본 발명에 따른 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법은 대규모 MIMO 안테나 중 수신에 사용되는 안테나 수에 따라 전이중/반이중 모드를 선택하여 함께 채널용량이 최대가 되도록 할 수 있다.

[0046] 본 발명에 따른 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법은 최적의 파일럿 길이를 선택하여 주파수 효율을 최대로 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 백홀링크 무선통신이 구현되는 방법을 나타내는 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신에 사용되는 코히어런스 길이의 세부 구성을 나타내는 개념도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신의 첫 번째 단계에서 SNR에 따른 달성 가능한 합계 전송률을 수학적식으로 구한 결과와 시뮬레이션으로 얻은 결과를 비교하는 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 매크로셀(MC) 수신 안테나 수 M_{rx} 에 따른 업링크(UL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 스몰셀(SC) 수신 안테나 수 N_{rx} 에 따른 다운링크(DL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 자기간섭(SI)의 크기에 따른 업링크(UL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 크기에 따른 다운링크(DL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 수신 안테나의 수에 따른 업링크(UL)와 다운링크(DL) 합계 전송률을 나타내는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 일정한 업링크(UL)와 다운링크(DL) 전송률을 얻기 위한 전력을 수신 안테나의 수의 변화에 따라 나타낸 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신의 두 번째 단계에서 SNR에 따른 달성 가능한 합계 전송률을 수학적식으로 구한 결과와 시뮬레이션으로 얻은 결과를 비교하는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 몇 개의 스몰셀 수 S에 대하여 파일럿 길이에 대한 전체 스펙트럼 효율(SE)을 나타내는 그래프이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 SNR에 대한 전체 스펙트럼 효율(SE)을 고정된 파일럿 길이의 경우와 최적화된 파일럿 길이의 경우에 대하여 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 매크로셀의 통신방법을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 이하, 첨부한 도면들 및 후술되어 있는 내용을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예들을 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여기에서, 설명되어지는 실시 예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기에서, 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되어지는 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다. 한편, 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급되지 않는 한 복수형도 포함된다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자가 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

- [0049] 채널(channel)은 어떤 곳에서 다른 곳으로 정보를 보내기 위해 사용되는 물리적인 통로를 말한다.
- [0050] 채널용량(achievable rate)은 채널에서 정보가 에러를 발생시키지 않고 보내질 수 있는 최대의 달성 용량을 말하며, 간단히 전송률(rate)로 줄여 표현하기도 하며, 본 명세서에서는 전송률과 채널용량을 혼용하여 사용한다.
- [0051] 무선백홀 통신이 이루어지는 매크로셀(MC) 기지국 및 스몰셀(SC) 기지국은 각각 간단히 매크로셀(MC) 및 스몰셀(SC)로 표현하고, 전이중(FD) 모드 시스템 및 반이중(HD) 모드 시스템도 전이중(FD) 모드 및 반이중(HD) 모드 등으로 간략히 표현할 수 있다.
- [0052] σ_m^2 , $\sigma_{s,k}^2$, $\sigma_{c,kj}^2$ 은 각각 매크로셀(MC) 내의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 j 번째 스몰셀(SC)로부터의 간섭 채널을 나타내는 원소들의 분산이며, 각각의 세기를 나타낸다.
- [0053] 코히어런스 길이(coherence interval)는 채널이 균일한 특성을 보이는 시간을 의미하며, 코히어런스 간격, 코히어런스 시간으로 표현할 수 있다.
- [0054] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 대규모 안테나 하이브리드 전이중/반이중 장치 및 방법에 대하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0055] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 협력 릴레이 네트워크에서 무선전력 및 정보 동시전송이 구현되는 방법을 나타내는 개념도이다.
- [0056] 본 발명에서는, 대규모(massive) 다중 입력 다중 출력(multiple-input multiple-output; MIMO)과 전이중(full-duplex; FD) 모드를 사용하는 무선 백홀(backhaul) 링크를 고려한 이종네트워크(heterogeneous network; HetNet)가 개시된다.
- [0057] 도 1a 에서 이종 네트워크 시스템(100)은 매크로셀(macro cell; MC)(110)과 스몰셀들(small cells; SCs)(130, 150)로 구성되어 있다. 매크로셀의 영역은 스몰셀들의 영역과 중첩된다. 매크로셀(110)은 전용 광케이블 백본 링크를 가지고 있으나, 스몰셀들(130, 150)은 매크로셀과의 무선 백홀 링크를 통해서 연결된다. 매크로셀(110)은 매크로셀 기지국(base station; BS)(111)을 가지고 있으며, 스몰셀들(130, 150)도 각각의 기지국(131, 151)을 가지고 있다. 이하에서는 매크로셀 기지국(MC BS)을 간단히 매크로셀(MC)로 표시하고, 스몰셀 기지국도 간단히 스몰셀로 표시한다.
- [0058] 매크로셀(MC)은 매크로셀 MIMO 안테나와, 매크로셀 서클레이터 및 매크로셀 제어부를 포함하며, 스몰셀(SC)도 스몰셀 MIMO 안테나와, 스몰셀 서클레이터 및 스몰셀 제어부를 포함하며,
- [0059] 본 발명의 일 실시예에 따른 데이터 통신은 두 단계(phase)로 이루어진다.
- [0060] 도 1a 에 나타난 첫번째 단계에서, 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC)의 기지국들은 많은 수신 안테나들과 적은 송신 안테나로 구성된다. 첫번째 단계의 구성은 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC)의 기지국들이 다수의 수신 안테나에 의해 고객 단말기(user terminals; UTs)에 업링크(uplink; UL) 접속을 제공한다.
- [0061] 매크로셀(111)은 스몰셀의 개수 S 에 맞추어 송신 안테나(112, 113)를 구비한다. 나머지 M_{rx} 개의 안테나(114, ..., 116, 117)들은 수신 안테나로 동작한다. 수신 안테나들은 고객 단말기(119) 및 스몰셀의 송신 안테나(132, 152)로부터의 데이터를 수신한다.
- [0062] 오른쪽의 스몰셀(130)은 1개의 송신 안테나(132)와 N_{rx} 개의 수신 안테나(134, ..., 137)로 동작한다. 수신 안테나들은 고객 단말기(139) 및 매크로셀의 송신 안테나(112)로부터의 데이터를 수신한다. 왼쪽의 스몰셀(150)에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다.
- [0063] 첫번째 단계가 끝나면, 송수신 전환 스위치인 서클레이터에 의해 수신 안테나는 송신 안테나로 동작하고, 송신 안테나는 수신 안테나로 동작한다.
- [0064] 도 1b 에 나타난 두번째 단계의 이종네트워크(200)에서는, 매크로셀(210)과 스몰셀(230, 250)의 기지국들에 많은 송신 안테나와 적은 수신 안테나가 구현된다. 두번째 단계의 구성은 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC)의 기지국들의 다수의 송신 안테나에 의해 고객 단말기(UTs)에 다운링크(downlink; DL) 접속을 제공할 수 있다.
- [0065] 매크로셀 기지국(211)은 스몰셀 개수 S 에 맞추어 수신 안테나(212, 213)를 구비한다. 나머지 안테나(214, ..., 216, 217)들은 송신 안테나로 동작한다. 송신 안테나들은 고객 단말기(219) 및 스몰셀의 수신 안테나(232, 25

2)로 데이터를 송신한다.

- [0066] 오른쪽의 스몰셀 기지국(231)은 1개의 수신 안테나(232)와 다수의 송신 안테나(234, ..., 237)로 동작한다. 송신 안테나들은 고객 단말기(239) 및 매크로셀의 수신 안테나(212)로 데이터를 송신한다. 왼쪽의 스몰셀 기지국(251)에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다.
- [0067] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신에 사용되는 코히어런스 길이의 세부 구성을 나타내는 개념도이다.
- [0068] 도 2를 참조하면, 코히어런스 길이(coherence interval) T 에서, 파일럿 사운딩을 통한 채널 트레이닝을 위해 τ_p 심벌이 사용되고, 나머지 시간 슬롯은 데이터 통신을 위한 제1 시구간(첫번째 단계)과 제2 시구간(두번째 단계)으로 동일하게 나뉘어 진다.
- [0069] 시분할 이중통신(time division duplex; TDD) 프로토콜을 가정하고 채널 상호 원리를 이용함으로써, 첫번째 단계(제1 시구간) 동안 데이터 디코딩에 사용된 동일한 채널 추정치가 두번째 단계(제2 시구간)에서 송신을 위한 프리코딩(precoding) 데이터에 적용될 수 있다.
- [0070] 첫번째 단계 동안, 매크로셀(MC)은 많은 수신 안테나 M_{rx} 와 적은 송신 안테나 M_{tx} 를 구비한다. 활성 송신 안테나 수는 스몰셀의 수 S 와 같도록 선택한다. 즉, $M_{rx} \gg M_{tx} = S$ 이다.
- [0071] 첫번째 단계에서, 스몰셀(SC)은 많은 수신 안테나 N_{rx} 와 단일 송신 안테나를 구비한다. 즉, $N_{rx} \gg N_{tx} = 1$ 이다.
- [0072] 두 번째 단계가 시작 되면, 서큘 레이터는 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC) 모두에서 송신 안테나와 수신 안테나의 역할을 전환한다. 즉, 매크로셀(MC)은 많은 송신 안테나 M_{tx} 와 적은 수신 안테나 M_{rx} 를 가진다. 즉, $M_{tx} \gg M_{rx} = S$ 이다.
- [0073] 두번째 단계에서, 각 스몰셀(SC)은 많은 송신 안테나 N_{tx} 와 단일 수신 안테나를 구비한다. 즉, $N_{tx} \gg N_{rx} = 1$ 이다.
- [0075] **첫번째 단계**
- [0076] 도 1a 를 참조하면, 각 스몰셀(SC) 기지국은 자신의 데이터를 매크로셀(MC) 기지국으로 전송한다. 동시에 매크로셀(MC) 기지국의 k 번째 송신 안테나는 독립적인 데이터를 k 번째 스몰셀(SC) 기지국으로 전송하는데 사용된다.
- [0077] 전이중(FD) 모드로 통신하므로, 매크로셀(MC)은 스몰셀(SC)로부터 원하는 신호(검은 실선 화살표) 이외에, 매크로셀(MC) 자신의 전송 신호(빨간 점선 화살표)도 수신하여 자기간섭(SI)을 일으킨다.
- [0078] 마찬가지로, 각각의 스몰셀(SC)은 수신하기를 원하는 매크로셀(MC)로부터의 전송신호(검은 점선 화살표) 이외에 스몰셀 자신으로부터 전송되는 신호(빨간 점선 화살표)와 다른 스몰셀들(SCs)로부터의 의도하지 않은 전송신호(파란 점선 화살표)를 함께 수신하여, 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭을 일으킨다.
- [0079] k 번째 스몰셀(SC)로부터 매크로셀(MC)에 전송된 신호를 x_{1k} 라 하고, 매크로셀(MC)로부터 k 번째 스몰셀(SC)로 전송된 신호를 x_{2k} 라 하면, x_{1k} 와 x_{2k} 는 평균이 0이고 분산이 1인 독립항등분포(independent and identically distributed; i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다.
- [0080] 간섭을 고려하면, k 번째 스몰셀(SC)로부터 전송된 신호로부터 매크로셀(MC)에 수신된 신호 y_{1k} 는 수학식 1로 표현할 수 있고, 매크로셀(MC)로부터 전송된 신호로부터 k 번째 스몰셀(SC)에서 수신된 신호 y_{2k} 는 수학식 2로 표현할 수 있다.

[0081] [수학식 1]

$$y_{1k} = \sqrt{p_1} \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k} x_{1k} + \sqrt{p_1} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1j} x_{1j} + \sqrt{p_2} \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{G}_m \mathbf{x}_2 + \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{n}_{1k}$$

[0082]

[0083] [수학식 2]

$$y_{2k} = \sqrt{p_2} \mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{h}_{2k} x_{2k} + \sqrt{p_2} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{h}_{2j} x_{2j} + \sqrt{p_1} \mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{g}_{s,k} x_{1k} + \sqrt{p_1} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{g}_{c,kj} x_{1j} + \mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{n}_{2k}$$

[0084]

[0085] 여기에서, p_1 은 스몰셀(SC) 송신 전력을, p_2 는 매크로셀(MC) 송신 전력을 나타낸다. 채널 벡터 \mathbf{h}_{1k} , \mathbf{h}_{2k} 는 각각 k 번째 스몰셀(SC)에서 매크로셀(MC)간 채널, 매크로셀(MC)에서 k 번째 스몰셀(SC)간 채널을 나타내고, 작은 규모와 큰 규모의 페이딩 효과를 고려하며, 평균 0이고 분산이 각각 $\beta_{1k} \mathbf{I}_{M_{rx}}$ 와 $\beta_{2k} \mathbf{I}_{N_{rx}}$ 인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수를 갖는 분포를 한다. 이때, β_{1k} 와 β_{2k} 는 대규모 페이딩 효과를 나타내고, 여러 개의 코히어런스 길이(coherence interval)에서 상수로 가정할 수 있다.

[0086] \mathbf{G}_m , $\mathbf{g}_{s,k}$, $\mathbf{g}_{c,kj}$ 는 각각 매크로셀(MC) 내의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 j 번째 스몰셀(SC)로부터의 간섭 채널을 나타내고, 그 원소들은 평균이 0이고 분산이 각각 σ_m^2 , $\sigma_{s,k}^2$, $\sigma_{c,kj}^2$ 인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다.

[0087] 자기간섭(SI) 채널에서 레일리(Rayleigh) 페이딩 가정을 적용할 수 있다. 송신 안테나와 수신 안테나를 적당한 간격을 두고 설치하거나, 안테나 사이에 차폐판 등을 설치하거나, 하드웨어 자기간섭(SI) 소멸기술이 적용하는 경우, 잔여 간섭은 레일리(Rayleigh) 분포를 한다. 마찬가지로 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭 채널에도 동일한 가정을 적용할 수 있다. 즉, σ_m^2 는 매크로셀(MC)에서의 자기간섭(SI)의 강도이고, $\sigma_{s,k}^2$ 와 $\sigma_{c,kj}^2$ 는 각각 k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 강도로 해석할 수 있다.

[0088] 한편, \mathbf{n}_{1k} 와 \mathbf{n}_{2k} 는 각각 매크로셀(MC)과 k 번째 스몰셀(SC)의 수신 잡음 벡터를 나타내고, 각 원소들은 평균이 0이고 분산이 1인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다. \mathbf{r}_{1k}^H 와 \mathbf{r}_{2k}^H 는 각각 매크로셀(MC)과 k 번째 스몰셀(SC) 수신 필터를 나타낸다. \mathbf{x}_2 는 $[x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2S}]^T$ 이다.

[0090] **두번째 단계**

[0091] 도 1b 를 참조하면, 두번째 단계에서 매크로셀(MC)은 데이터를 프리코딩(precoding)하여 각각의 데이터를 모든 스몰셀(SC)에 전송한다. 동시에, 각 스몰셀(SC)은 자신의 데이터를 프리코딩(precoding)하여 매크로셀(MC)의 대응하는 수신 안테나로 송신한다.

[0092] 매크로셀(MC)의 k 번째 수신 안테나는 해당 k 번째 스몰셀(SC)로부터 원하는 신호를 수신하지만, 자기간섭(SI)을 유발하는 매크로셀(MC) 전송신호도 수신한다. 마찬가지로, 각각의 스몰셀(SC)은 매크로셀(MC)로부터 원하는 신호를 수신하지만, 자기간섭(SI)을 유발하는 자신의 전송신호 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭을 유발하는 다른 스몰셀(SC)들로부터의 의도되지 않은 신호들도 수신한다.

[0093] 시분할 이중통신(TDD) 프로토콜을 사용하므로, 두번째 단계의 다운링크(DL) 채널은 첫번째 단계의 업링크(UL) 채널의 쥘레 전치(conjugate transpose)와 동일하고, 그 반대도 마찬가지이다.

[0094] k 번째 스몰셀(SC)로부터 매크로셀(MC)의 k 번째 안테나로 전송하는 신호를 b_{1k} 라 하고, 매크로셀(MC)로부터 k

번째 스몰셀(SC)로 전송하는 신호를 b_{2k} 라 하면, b_{1k} 와 b_{2k} 는 평균이 0이고 분산이 1인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다.

[0095] 간섭을 고려하면, 매크로셀(MC)의 k 번째 수신 안테나에 수신된 신호 w_{1k} 는 수학식 3으로 표현할 수 있고, k 번째 스몰셀(SC)에서 수신된 신호 w_{2k} 는 수학식 4로 표현할 수 있다.

[0096] [수학식 3]

$$w_{1k} = \sqrt{p_1} \mathbf{h}_{2k}^H \mathbf{f}_{1k} b_{1k} + \sqrt{p_1} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{h}_{2k}^H \mathbf{f}_{1j} b_{1j} + \sqrt{p_2} \mathbf{q}_{m,k}^H \mathbf{F}_2 \mathbf{b}_2 + v_{1k}$$

[0097]

[0098] [수학식 4]

$$w_{2k} = \sqrt{p_2} \mathbf{h}_{1k}^H \mathbf{f}_{2k} b_{2k} + \sqrt{p_2} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{h}_{1k}^H \mathbf{f}_{2j} b_{2j} + \sqrt{p_1} \mathbf{q}_{s,k}^H \mathbf{f}_{1k} b_{1k} + \sqrt{p_1} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{q}_{c,kj}^H \mathbf{f}_{1j} b_{1j} + v_{2k}$$

[0099]

[0100] 여기에서, $\mathbf{q}_{m,k}$, $\mathbf{q}_{s,k}$, $\mathbf{q}_{c,kj}$ 벡터들은 각각 매크로셀(MC)의 k 번째 수신 안테나의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI) 채널, k 번째 스몰셀(SC)에서의 j 번째 스몰셀(SC)로부터의 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭 채널을 나타내고, 그 원소들은 평균이 0이고 분산이 각각 $n_{m,k}^2$, $n_{s,k}^2$, $n_{c,kj}^2$ 인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다.

[0101] 한편, v_{1k} 는 매크로셀(MC) 수신 안테나 노이즈이고, v_{2k} 는 k 번째 스몰셀(SC) 수신 안테나의 노이즈며, 평균이 0이고 분산이 1인 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수들이다. \mathbf{F}_2 는 매크로셀(MC) 프리코딩(precoding) 행렬로 $[\mathbf{f}_{21}, \mathbf{f}_{22}, \dots, \mathbf{f}_{2S}]$ 이고, \mathbf{f}_{1k} 는 k 번째 스몰셀(SC) 프리코딩 벡터이다. \mathbf{b}_2 는 $[b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2S}]^T$ 이다.

[0103] **채널 추정**

[0104] 완벽한 채널 상태 정보(channel state information; CSI)를 확보하는 것은 대규모 MIMO 및 전이중(FD)통신 기술의 잠재력을 완전히 발휘하는 데 중요하다. 그러나 매크로셀(MC) 및 스몰셀(SC) 양자는 실제 채널 벡터의 추정치만을 얻을 수 있다. 따라서 채널 상태 정보(CSI)가 불완전하다고 가정하는 것이 보다 현실적이다.

[0105] 도 2를 참조하면, 대규모 MIMO에서의 채널 추정을 위해 파일럿 시퀀스를 사용한다. 심볼들(symbols)로 이루어진 길이(시간) T 의 코히어런스 간격에 대해, 파일럿 전력 p_τ 로, 각각의 스몰셀(SC)은 업링크(UL) 채널 추정을 위해 길이 τ_p 의 파일럿 시퀀스를 매크로셀(MC)로 송신하고, 매크로셀(MC) 송신 안테나는 다운링크(DL) 채널 추정을 위해 스몰셀들(SCs)에 동일한 길이의 파일럿 시퀀스를 송신한다.

[0106] 시분할 이중통신(TDD) 시스템에서 파일럿 오염 현상을 피하기 위해, 채널 추정에는 상호 직교하는 파일럿 시퀀스를 사용한다. 이를 위하여 각 코히어런스 시간 T 에 대해, 파일럿 시퀀스의 길이 τ_p 는 스몰셀(SC)의 수 S 의 두 배보다 크게 하여야 한다. 즉, $\tau_p \geq 2S$ 이다.

[0107] 획득된 훈련 신호들을 대응하는 파일럿 시퀀스들과 상관시키고, 최소 평균 제곱 오차(minimum mean square error; MMSE) 채널 추정을 이용하면, 진정한 채널 벡터 \mathbf{h}_{Ak} 는 수학식 5와 같이 나누어 표현할 수 있다.

[0108] [수학식 5] $\mathbf{h}_{Ak} = \hat{\mathbf{h}}_{Ak} + \tilde{\mathbf{h}}_{Ak}$

[0109] 여기에서 추정치 벡터 $\hat{\mathbf{h}}_{Ak}$ 및 추정치 에러 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{Ak}$ 는 상호 독립적인 벡터이다. 첨자 A는 통신 방향에 따라, k 번째 스몰셀(SC)에서 매크로셀(MC)로의 방향은 1이고, 매크로셀(MC)에서 k 번째 스몰셀(SC)로의 방향은 2이다. $\hat{\mathbf{h}}_{Ak}$ 와 $\tilde{\mathbf{h}}_{Ak}$ 벡터의 원소들은 평균이 0이고 분산은 각각 수학적 6과 수학적 7로 정의되는 독립항등분포(i.i.d.) 복소 가우시안 랜덤 변수이다.

[0110] [수학적 6]
$$\hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\tau_p p_\tau \beta_{Ak}^2}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}}$$

[0111] [수학적 7]
$$\tilde{\beta}_{Ak}^2 = \beta_{Ak} - \hat{\beta}_{Ak}^2 = \frac{\beta_{Ak}}{1 + \tau_p p_\tau \beta_{Ak}}$$

[0113] **신호 검출 및 프리코딩(precoding)**

[0114] 첫 번째 단계에서, 최대 비율 결합(maximum ratio combining; MRC) 수신 필터를 이용하고, 두 번째 단계에서 최대 비율 전송(maximum ratio transmission; MRT) 프리코딩(precoding)을 적용한다. MRC/MRT와 같은 선형 처리 기법은 많은 안테나를 사용하는 경우 높은 주파수 스펙트럼 효율(SE)을 얻을 수 있다.

[0115] 또한, 최대 비율 처리는 분산 방법으로 구현될 수 있다. 즉, 각각의 안테나는 신호처리를 위해 기저국에 전체 기저대역 신호를 보내지 않고, 채널의 켈레(conjugate)를 이용하여 수신된 신호를 증폭할 수 있다.

[0116] MRC 수신 필터는 수학적 8과 같이 나타낼 수 있다.

[0117] [수학적 8]
$$\mathbf{r}_{Ak}^H = \hat{\mathbf{h}}_{Ak}^H$$

[0118] 매크로셀(MC)에 의해 이용되는 프리코딩(precoding) 행렬은 수학적 9로 구할 수 있다.

[0119] [수학적 9]
$$\mathbf{F}_2 = \alpha_2 \hat{\mathbf{H}}_1$$

[0120] 여기에서,
$$\alpha_2^2 = S/\mathcal{E}[\text{tr}(\hat{\mathbf{H}}_1 \hat{\mathbf{H}}_1^H)] = S/(M_{tx} \sum_{j=1}^S \hat{\beta}_{1j}^2)$$
 는 전력 정규화 인자(power normalization factor)이고, $\hat{\mathbf{H}}_1 = [\hat{\mathbf{h}}_{11}, \hat{\mathbf{h}}_{12}, \dots, \hat{\mathbf{h}}_{1S}]$ 는 추정된 채널 행렬이다.

[0121] 스몰셀(SC) 간에 협력이 없으므로, 각 스몰셀(SC)은 독립적으로 데이터를 프리코딩(precoding)하므로, 다른 스몰셀(SC)의 채널 상태 정보(CSI)는 필요하지 않다.

[0122] k 번째 스몰셀(SC)이 사용하는 프리코더(precoder)는 수학적 10으로 표현된다.

[0123] [수학적 10]
$$\mathbf{f}_{1k} = \alpha_{1k} \hat{\mathbf{h}}_{2k}$$

[0124] 여기에서,
$$\alpha_{1k}^2 = 1/\mathcal{E}[\text{tr}(\hat{\mathbf{h}}_{2k} \hat{\mathbf{h}}_{2k}^H)] = 1/(N_{tx} \hat{\beta}_{2k}^2)$$
 는 k 번째 스몰셀(SC)에서의 전력 정규화 인자(power normalization factor)이다.

[0125] 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭 널링 전략(nulling strategy)을 이용하지 않기 때문에, 자기간섭(SI) 채널 및 스몰셀간(SC-to-SC) 채널의 채널 상태 정보(CSI)는 필요하지 않다.

[0127] **채널 용량**

[0128] 대규모 MIMO의 업링크/다운링크 채널용량(achievable rate)을 구하기 위해, 수신된 신호는 평균 이득(mean gain)으로 표현되고, 상호 연관되지 않는 유효 잡음(effective noise)이 추가된 원하는 전송신호에 의해 증폭된다.

[0129] 유효 잡음의 엔트로피는 가우시안 잡음 엔트로피 (Gaussian noise entropy)에 의해 상한값을 가지므로, 이를 이

용하여 채널용량의 하한을 구할 수 있다.

[0130] 첫 번째 단계에서, 매크로셀(MC)에서 업링크(UL) 채널용량(achievable rate)을 계산하기 위해, 수학적 식 1을 참조하면 수학적 식 11을 구할 수 있다.

[0131] [수학적 식 11]
$$y_{1k} = \sqrt{p_1} \mathcal{E}[\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k}] x_{1k} + \tilde{n}_{1k}$$

[0132] 여기에서, 첫 번째 항은 원하는 신호이고, 두 번째 항은 다음 식으로 정의되는 유효 잡음(effective noise)이다.

[0133]
$$\begin{aligned} \tilde{n}_{1k} \triangleq & \sqrt{p_1} (\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k} - \mathcal{E}[\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k}]) x_{1k} \\ & + \sqrt{p_1} \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1j} x_{1j} + \sqrt{p_2} \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{G}_m \mathbf{x}_2 + \mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{n}_{1k} \end{aligned}$$

[0134] 수학적 식 11에서 유효 잡음과 원하는 신호는 서로 상호 연관되지 않는다. 즉, 기대값 $\mathcal{E}[\mathcal{E}[\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k}] x_{1k} \cdot \tilde{n}_{1k}^*] = 0$ 이다.

[0135] 동일한 분산을 갖는 독립적인 가우시안 잡음이 상호 연관되지 않는 가산 잡음 중 최악의 경우이기 때문에, k 번째 스몰셀(SC)에 대한 매크로셀(MC) 업링크(UL)의 채널용량(achievable rate)은 수학적 식 12와 같이 주어진다.

[0136] [수학적 식 12]
$$R_{m,k}^{(1)} = \log_2 \left(1 + \frac{\mathbb{D}_{m,k}^{(1)}}{\mathbb{V}_{m,k}^{(1)} + \mathbb{I}_{m,k}^{(1)} + \mathbb{L}_{m,k}^{(1)} + \mathbb{A}_{m,k}^{(1)}} \right)$$

[0137] 여기에서, 매크로셀(MC) 기지국에서의 원하는 신호 전력(desired signal power), 유효 채널의 분산(variance), 멀티-셀 간섭, 자기 간섭(SI), 노이즈 증폭 인자는 각각 다음 식과 같이 정의된다.

[0138]
$$\begin{aligned} \mathbb{D}_{m,k}^{(1)} & \triangleq p_1 |\mathcal{E}[\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k}]|^2, & \mathbb{V}_{m,k}^{(1)} & \triangleq p_1 \text{var}(\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1k}), \\ \mathbb{I}_{m,k}^{(1)} & \triangleq p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{h}_{1j}|^2], & \mathbb{L}_{m,k}^{(1)} & \triangleq p_2 \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{1k}^H \mathbf{G}_m|^2], \\ \mathbb{A}_{m,k}^{(1)} & \triangleq \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{1k}^H|^2] \end{aligned}$$

[0139] 첫 번째 단계에서, 매크로셀(MC)에서 k 번째 스몰셀(SC)로의 다운링크(DL) 채널용량(achievable rate)도, 수학적 식 2에 위와 비슷한 접근법을 사용하여 구하면 수학적 식 13과 같이 표현할 수 있다.

[0140] [수학적 식 13]
$$R_{s,k}^{(1)} = \log_2 \left(1 + \frac{\mathbb{D}_{s,k}^{(1)}}{\mathbb{V}_{s,k}^{(1)} + \mathbb{I}_{s,k}^{(1)} + \mathbb{L}_{s,k}^{(1)} + \mathbb{C}_{s,k}^{(1)} + \mathbb{A}_{s,k}^{(1)}} \right)$$

[0141] 여기에서, 각 파라미터들은 수학적 식 12에서와 마찬가지로 다음 식과 같이 정의된다.

[0142]
$$\begin{aligned} \mathbb{D}_{s,k}^{(1)} & \triangleq p_2 |\mathcal{E}[\mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{h}_{2k}]|^2, & \mathbb{V}_{s,k}^{(1)} & \triangleq p_2 \text{var}(\mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{h}_{2k}), \\ \mathbb{I}_{s,k}^{(1)} & \triangleq p_2 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{h}_{2j}|^2], & \mathbb{L}_{s,k}^{(1)} & \triangleq p_1 \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{g}_{s,k}|^2], \\ \mathbb{A}_{s,k}^{(1)} & \triangleq \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{2k}^H|^2], & \mathbb{C}_{s,k}^{(1)} & \triangleq p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{r}_{2k}^H \mathbf{g}_{c,kj}|^2] \end{aligned}$$

[0143] 마지막으로 추가된 파라미터는 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭 항이다.

[0144] 두 번째 단계에서는, 업링크(UL)에 대해 수학적 식 3을 이용하고, 다운링크(DL)에 대해 수학적 식 4를 이용하여, 첫 번째 단계에서 사용한 방법을 적용하여 채널용량(achievable rate)을 구할 수 있다.

[0145] 두 번째 단계에서, 매크로셀(MC)의 k 번째 수신 안테나에서의 채널용량(achievable rate)은 수학적 식 14로 표현할 수 있다.

$$R_{m,k}^{(2)} = \log_2 \left(1 + \frac{\mathbb{D}_{m,k}^{(2)}}{\mathbb{V}_{m,k}^{(2)} + \mathbb{I}_{m,k}^{(2)} + \mathbb{L}_{m,k}^{(2)} + 1} \right)$$

[0146] [수학적 식 14]

[0147] 여기에서, 각 파라미터들은 다음 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \mathbb{D}_{m,k}^{(2)} &\triangleq p_1 |\mathcal{E}[\mathbf{h}_{2k}^H \mathbf{f}_{1k}]|^2, \quad \mathbb{V}_{m,k}^{(2)} \triangleq p_1 \text{var}(\mathbf{h}_{2k}^H \mathbf{f}_{1k}), \\ \mathbb{I}_{m,k}^{(2)} &\triangleq p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{h}_{2k}^H \mathbf{f}_{1j}|^2], \quad \mathbb{L}_{m,k}^{(2)} \triangleq p_2 \mathcal{E}[|\mathbf{q}_{m,k}^H \mathbf{F}_2|^2] \end{aligned}$$

[0148]

[0149] 두 번째 단계에서, k 번째 스몰셀(SC)에서의 채널용량(achievable rate)은 수학적 식 15와 같이 구한다.

$$R_{s,k}^{(2)} = \log_2 \left(1 + \frac{\mathbb{D}_{s,k}^{(2)}}{\mathbb{V}_{s,k}^{(2)} + \mathbb{I}_{s,k}^{(2)} + \mathbb{L}_{s,k}^{(2)} + \mathbb{C}_{s,k}^{(2)} + 1} \right)$$

[0150] [수학적 식 15]

[0151] 여기에서, 각 파라미터들은 다음 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \mathbb{D}_{s,k}^{(2)} &\triangleq p_2 |\mathcal{E}[\mathbf{h}_{1k}^H \mathbf{f}_{2k}]|^2, \quad \mathbb{V}_{s,k}^{(2)} \triangleq p_2 \text{var}(\mathbf{h}_{1k}^H \mathbf{f}_{2k}), \\ \mathbb{I}_{s,k}^{(2)} &\triangleq p_2 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{h}_{1k}^H \mathbf{f}_{2j}|^2], \\ \mathbb{L}_{s,k}^{(2)} &\triangleq p_1 \mathcal{E}[|\mathbf{q}_{s,k}^H \mathbf{f}_{1k}|^2], \quad \mathbb{C}_{s,k}^{(2)} \triangleq p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \mathcal{E}[|\mathbf{q}_{c,kj}^H \mathbf{f}_{1j}|^2] \end{aligned}$$

[0152]

[0154] **대형 시스템 분석**

[0155] 채널용량(achievable rate)에 대한 해석적인 닫힌 형태의 식을 얻기 위해, 수학적 식 12 내지 15를 대규모 안테나 영역에서 근사할 수 있다.

[0156] 첫 번째 단계에서, 매크로셀(MC)에서 M_{tx} 가 스몰셀 개수 S 로 일정하게 유지되는 반면에 $M_{rx} \rightarrow \infty$ 로 근사할 수 있다. 각각의 스몰셀(SC)에서는 단일 송신 안테나를 가지며 $N_{rx} \rightarrow \infty$ 로 근사할 수 있다.

[0157] 두번째 단계에서는, 고정된 수신 안테나를 가지고, $M_{rx} \rightarrow \infty$ 및 $N_{rx} \rightarrow \infty$ 로 근사할 수 있다.

[0158] 큰 수의 법칙(law of large number)과 무작위 행렬 이론(random matrix theory)의 결과를 이용하여, 업링크(UL)/다운링크(DL) 채널용량(achievable rate)에 대한 닫힌 형태의 해를 다음 정리 1과 정리 2와 같이 구할 수 있다.

[0159] **[정리 1]**

[0160] 첫 번째 단계에서, 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC) 모두에 대해 MRC 수신 필터를 채택하는 경우, 불완전한 채널 상태 정보(CSI)를 가지고 있어도, 매크로셀(MC)과 k 번째 스몰셀(SC)에서의 전이중(FD) 무선 백홀 링크의 채널용량은 각각 수학적 식 16과 수학적 식 17로 나타낼 수 있다.

[0161] [수학적 식 16]

$$R_{m,k}^{(1)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_1 \hat{\beta}_{1k}^2 M_{rx}}{p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + p_2 \sigma_m^2 M_{rx} + 1} \right)$$

[0162]

[0163] [수학식 17]

$$R_{s,k}^{(1)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_2 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{rx}}{p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + p_1 \sigma_{s,k}^2 + p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2 + 1} \right)$$

[0164]

[0165] [정리 2]

[0166] 두 번째 단계에서, 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC)에서 불완전한 채널 상태 정보(CSI)를 가지고 MRT 처리를 하는 경우, 매크로셀(MC)과 각 스몰셀(SC)에서 전이중(FD) 무선 백홀 링크의 채널용량(achievable rate)은 각각 수학식 18과 수학식 19로 나타낼 수 있다.

[0167] [수학식 18]

$$R_{m,k}^{(2)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_1 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{tx}}{p_1 S \beta_{2k} + p_2 \eta_{m,k}^2 S + 1} \right)$$

[0168]

[0169] [수학식 19]

$$R_{s,k}^{(2)} = \log_2 \left(1 + \frac{p_2 S \frac{\hat{\beta}_{1k}^4}{\sum_{j=1}^S \hat{\beta}_{1j}^2} M_{tx}}{p_2 S \beta_{1k} + p_1 \eta_{s,k}^2 + p_1 \sum_{j=1, j \neq k}^S \eta_{c,kj}^2 + 1} \right)$$

[0170]

[0171] 정리 1에서, 수학식 16과 수학식 17에서 알 수 있듯이, 채널용량(achievable rate)은 채널 추정 정확도, 대규모 페이딩 계수들, 총 스몰셀(SC) 수, 수신 안테나 수, 자기간섭(SI)의 세기, 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 세기, 송신 전력을 포함한 여러 요소들의 함수이다.

[0172] 수학식 16에서 업링크(UL)의 채널용량(achievable rate)은 매크로셀(MC)의 수신 안테나의 수 M_{rx} 를 증가시킴으로써 늘릴 수 있으며, 수학식 17에서 다운링크(DL)의 채널용량(achievable rate)은 k 번째 스몰셀(SC)의 수신 안테나의 수 N_{rx} 를 증가시킴으로써 늘릴 수 있는 것을 알 수 있다. 즉, 매크로셀(MC) 및 스몰셀(SC)에서 수신 안테나의 수를 증가시키면, 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 영향을 극복할 수 있다. 한편, 달성 가능한 레이트는 채널 추정 정확도의 증가에 따라 향상된다.

[0173] 정리 2의 수학식 18에서, 매크로셀(MC)에서의 업링크(UL) 채널용량(achievable rate)은 스몰셀(SC) 송신 안테나의 수 N_{tx} 를 증가시킴으로써 향상된다는 것을 알 수 있다. 또한, 스몰셀(SC) 수의 증가는 자기간섭(SI) 항의 세기를 증가시키기 때문에, 업링크(UL) 채널용량(achievable rate)은 스몰셀의 수 S 에 의해 크게 영향을 받는다.

[0174] 수학식 19에서, k 번째 스몰셀(SC)에서 다운링크(DL) 채널용량(achievable rate)에 대해서 유사한 해석이 가능하다.

[0175] 스몰셀(SC) 수의 증가는 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 강도를 증가시키고, 결과적으로 k 번째 스몰셀(SC)의 채널용량(achievable rate)에 영향을 미친다. 그러나 스몰셀(SC) 수의 증가는 일반적으로 네트워크의 전체 합계 전송률(sum-rate)을 향상시키기 때문에, 합계 전송률(sum-rate)에 대하여 절충안을 결정하여야 한다.

[0177] **전이중(FD) 모드와 반이중(HD) 모드의 비교**

[0178] 앞에서 구한 닫힌 형태의 수학식들을 이용하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전이중(FD) 모드와 반이중(HD) 모드에서의 채널용량(achievable rate) 성능을 비교한다.

[0179] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 간섭 강도와 안테나 수에 따라 모드를 바꿀 수 있는 하이브리드 전이중(FD)/반이중(HD) 시스템을 제공할 수 있다.

[0180] 반이중(HD)모드로 동작하는 경우, 기지국(BS)의 송수신기(transceivers)는 각 시간 슬롯(time slot)에 송신하거나 또는 수신을 하므로 전체 시간의 절반만 송신에 사용한다. 따라서 반이중(HD) 모드 기지국은 전이중(FD) 모드 기지국의 송신 전력의 절반만 사용한다.

[0181] 공정한 비교를 위해, 반이중(HD) 모드의 경우는 전이중(FD) 모드에서 이용되는 송신 전력의 2 배를 사용하는 것으로 설정한다. 전이중(FD) 모드와 달리 반이중(HD) 모드에서는 송수신이 동시에 일어나지 않으므로, 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭을 생성하지 않는다. 그러나 반이중(HD) 모드는 전이중(FD) 모드에 비해 전송률(rate) 식에서 로그값 앞에 1/2을 곱해야 한다.

[0182] 반이중(HD) 시스템의 채널용량(achievable rate)은 전이중(FD) 채널용량에 관한 수학적 식 16 내지 19에서 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭 항을 무시하고, 송신 전력을 두 배로 증가시키고, 로그 앞에 1/2을 붙여서 구할 수 있다.

[0183] 즉, 첫 번째 단계에서, 반이중(HD) 모드의 업링크(UL)/다운링크(DL) 전송률(rate)은 각각 수학적 식 20과 수학적 식 21로 표현될 수 있다.

[0184] [수학적 식 20]

$$R_{m,k}^{(1)HD} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{2p_1 \hat{\beta}_{1k}^2 M_{rx}}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1} \right)$$

[0185] [수학적 식 21]

$$R_{s,k}^{(1)HD} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{2p_2 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{rx}}{2p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1} \right)$$

[0186] 두 번째 단계에서, 반이중(HD) 모드의 업링크(UL)/다운링크(DL) 전송률(rate)은 각각 수학적 식 22과 수학적 식 23으로 표현될 수 있다.

[0187] [수학적 식 22]

$$R_{m,k}^{(2)HD} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{2p_1 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{tx}}{2p_1 S \beta_{2k} + 1} \right)$$

[0188] [수학적 식 23]

$$R_{s,k}^{(2)HD} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{2p_2 S \hat{\beta}_{1k}^4 M_{tx}}{\sum_{j=1}^S \hat{\beta}_{1j}^2 (2p_2 S \beta_{1k} + 1)} \right)$$

[0189] 전이중(FD) 시스템은 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭으로 제한되는데 반해서, 반이중(HD) 시스템은 로그 앞의 인자 1/2에 의해 제한된다.

[0190] 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 관점에서 하이브리드 시스템의 모드를 선택하는 기준을 정하기 위해서는, 반이중(HD) 모드와 전이중(FD) 모드의 채널용량(achievable rate)이 같아지는 간섭 파라미터들을 결정해야 한다.

[0191] 매크로셀(MC)에서의 업링크(UL) 전송률(rate)의 경우에는, 자기간섭(SI)만이 고려된다.

[0192] 그런 다음, 반이중(HD) 모드와 전이중(FD) 모드 사이에 매크로셀(MC)에서 업링크(UL) 전송률(rate)이 같아지는 자기간섭(SI) 세기 파라미터 $\sigma_{m,0}^2$ 는 수학적 식 16과 수학적 식 20으로부터 수학적 식 24와 같이 구해진다.

[0193] [수학적 식 24]

$$\sigma_{m,0}^2 = \frac{1}{p_2 M_{tx}} \left[\frac{p_1 \hat{\beta}_{1k}^2 M_{rx}}{(X_m^{1/2} - 1)} - (p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1) \right]$$

[0194] 여기에서,

$$X_m = 1 + \frac{2p_1 \hat{\beta}_{1k}^2 M_{rx}}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1}$$

이다.

[0195] 수학적 식 24에서 교차 값은 장기 채널 통계(long-term channel statistics)에만 의존하기 때문에, 매크로셀(MC)에서 계산될 수 있다. 즉, $\sigma_m^2 < \sigma_{m,0}^2$ 이면 전이중(FD) 모드로 동작하고, 그렇지 않으면 반이중(HD) 모드로 동작하도록 구현할 수 있다.

[0196] 또한, 장기 채널 통계가 알려지면, 전이중(FD) 모드가 반이중(HD) 모드보다 성능이 높아지는 데 필요한 매크로셀(MC) 수신 안테나 수 M_{rx0} 를 수학적 식 25로 결정할 수 있다.

[0197] [수학적 식 25]

$$M_{rx0} = \frac{2}{p_1 \hat{\beta}_{1k}} \left(\frac{p_2 \sigma_m^2 M_{tx} (p_2 \sigma_m^2 M_{tx} + 1) - Y}{2p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1} \right)$$

[0198] 여기에서, $Y = p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} (p_1 \sum_{j=1}^S \beta_{1j} + 1)$ 이다.

[0199] 각 스몰셀(SC)에서 매크로셀(MC)로의 링크에 대해, 전이중(FD) 모드의 구성이 자기간섭(SI)의 영향을 극복하고 반이중(HD) 모드를 증가하기 위해, 수신 안테나는 $M_{rx} > M_{rx0}$ 인 정수이어야 한다.

[0200] k 번째 스몰셀(SC)에서의 다운링크(DL) 전송률(rate)에 대해, 하이브리드 방법에 대한 자기간섭(SI) 및 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 임계치는 수학적 식 26으로 구할 수 있다.

[0201] [수학적 식 26]

[0202]

$$\underbrace{\sigma_{s,k}^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2}_{\sigma_{r0,k}^2} = \frac{1}{p_1} \left(\frac{p_2 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{rx}}{(X_{s,k}^{1/2} - 1)} - (p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1) \right)$$

[0203] 여기에서, $\sigma_{r0,k}^2$ 는 k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 결합된 영향을 나타내

[0204] 고,

$$X_{s,k} = 1 + \frac{2p_2 \hat{\beta}_{2k}^2 N_{rx}}{2p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1}$$

로 정의된다.

[0204] k 번째 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 결합된 영향이 $\sigma_{r0,k}^2$ 보다 클 때, 전이중(FD) 모드의 다운링크(DL) 전송률(rate)은 반이중(HD) 모드 전송률(rate)보다 낮아집니다.

[0205] 전이중(FD) 모드가 반이중(HD) 모드보다 양호한 성능을 보이기 위해서는, k 번째 스몰셀(SC)에 필요한 안테나의 수는 수학적 식 27로 계산할 수 있다.

[0206] [수학적 식 27]

$$N_{rx0} = \frac{2}{p_2 \hat{\beta}_{2k}} \left(\frac{p_1 \sigma_{t,k}^2 (p_1 \sigma_{t,k}^2 + 1) - Z}{2p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1} \right)$$

[0207] 여기에서, $\sigma_{t,k}^2 = \sigma_{s,k}^2 + \sum_{j=1, j \neq k}^S \sigma_{c,kj}^2$ 이고, $Z = p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} (p_2 \sum_{j=1}^S \beta_{2j} + 1)$ 이다.

[0208] 수학적 식 27에서, 장기 채널 통계와 스몰셀(SC)의 수에 의해, 전이중(FD) 모드와 반이중(HD)모드 중에서 합계 전송률(sum-rate)이 더 양호한 모드를 선택할 수 있다.

[0209] 또한, 장기 채널 정보에 기초한 하이브리드 전이중/반이중(FD/HD) 시스템은 매크로셀(MC) 기지국과 동일한 방법으로 스몰셀(SC) 기지국에 대해서 설계할 수 있다.

[0210] 두 번째 단계의 경우에서도 첫 번째 단계와 유사하게 분석할 수 있으므로, 구체적인 내용은 생략한다.

[0211] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 매크로셀의 전이중(FD) 모드는, 첫 번째 단계(제1 시구간)에서 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 스몰셀 개수 S 에 해당하는 안테나를 송신에 사용하고, 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하여 송신과 수신을 동시에 실시한다. 두 번째 단계(제2 시구간)에서는 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 스몰셀 개수 S 에 해당하는 안테나를 수신에 사용하고, 나머지 M_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정한다.

[0212] 스몰셀의 전이중(FD) 모드는, 제1 시구간에서 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 송신에 사용하고 나머지 N_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정하여 송신과 수신을 동시에 실시한다. 제2 시구간에서 스몰셀 MIMO 안테나 중에서 1개의 안테나를 수신에 사용하고 나머지 N_{tx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정한다.

[0213] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 매크로셀의 반이중(HD) 모드는, 첫 번째 단계(제1 시구간)에서 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하고, 두 번째 단계(제2 시구간)에서는 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정하여, 수신과 송신을 별개의 시간에 일어나도록 한다.

[0214] 스몰셀의 반이중(HD) 모드는, 제1 시구간에서 스몰셀 서클레이터가 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하고, 제2 시구간에서는 스몰셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정하여, 수신과 송신을 별개의 시간에 일어나도록 한다.

[0216] **전력 스케일링 법칙**

[0217] 채널 추정의 정확도가 고정된 경우, 첫 번째 단계의 많은 수의 수신 안테나와 두 번째 단계의 많은 수의 송신 안테나에 의해 송신 전력을 감소시킬 수 있다.

[0218] **[보조정리 1]**

[0219] 첫 번째 단계에서, k 번째 스몰셀(SC)의 송신 전력과 매크로셀(MC)의 송신 전력이 각각 $p_1 = E_1/M_{rx}$ 와 $p_2 = E_2/N_{rx}$ 에 따라 스케일링되는 경우(E_1 및 E_2 는 M_{rx} 와 N_{rx} 에 무관하게 고정된 값), M_{rx} 와 N_{rx} 가 동일한 비율(rate)로 무한대로 증가하면, 수학적 식 16과 수학적 식 17은 각각 수학적 식 28과 수학적 식 29로 나타낼 수 있다.

[0220] [수학적 식 28]
$$\tilde{R}_{m,k}^{(1)} = \log_2 (1 + E_1 \hat{\beta}_{1k}^2)$$

[0221] [수학적 식 29]
$$\tilde{R}_{s,k}^{(1)} = \log_2 (1 + E_2 \hat{\beta}_{2k}^2)$$

[0222] **[보조정리 2]**

[0223] 두 번째 단계에서는, $p_1 = E_1/N_{tx}$ 와 $p_2 = E_2/M_{tx}$ 에 따라 스케일링되는 경우(E_1 및 E_2 는 N_{tx} 와 M_{tx} 에 무관하게 고정된 값), M_{tx} 와 N_{tx} 가 동일한 속도(speed)로 무한대로 증가하면, 수학적 식 18과 수학적 식 19는 각각 수학적 식 30 과 수학적 식 31로 나타낼 수 있다.

[0224] [수학적 식 30]
$$\tilde{R}_{m,k}^{(2)} = \log_2 (1 + E_1 \hat{\beta}_{2k}^2)$$

[0225] [수학적 식 31]
$$\tilde{R}_{s,k}^{(2)} = \log_2 \left(1 + \frac{E_2 S \hat{\beta}_{1k}^4}{\sum_{j=1}^S \hat{\beta}_{1j}^2} \right)$$

[0226] 보조정리 1에서, k 번째 스몰셀(SC)과 매크로셀(MC)에서 고정된 채널 정확도와 대규모 수신 안테나에 대해, 첫 번째 단계에서 k 번째 스몰셀(SC)과 매크로셀(MC)의 송신 전력을 각각 $1/M_{rx}$ 와 $1/N_{rx}$ 에 비례하여 감소시켜도, 일정한 업링크/다운링크(UL/DL) 전송률(rate)을 유지할 수 있다. 즉, 동일한 전송률을 유지한 채 송신전력을 $1/M_{rx}$ 와 $1/N_{rx}$ 로 감소시킬 수 있다.

[0227] 또한, 보조정리 2에서, 각각의 스몰셀(SC)과 매크로셀(MC)에서의 대규모 송신 안테나 영역에서, 매크로셀(MC) 및 k 번째 스몰셀(SC)의 송신 전력을 각각 $1/M_{tx}$ 및 $1/N_{tx}$ 에 따라 감소시켜도, 동일한 채널용량을 유지할 수 있다. 즉, 동일한 채널용량을 유지한 채 송신전력을 $1/M_{tx}$ 및 $1/N_{tx}$ 로 감소시킬 수 있다.

[0229] **주파수 효율(SE) 분석**

[0230] 합계 주파수 효율 또는 스펙트럼 효율(spectral efficiency; SE)은 채널 사용에 대한 합계 전송률(sum-rate)로 정의할 수 있다.

[0231] 도 2를 참조하면, T 시간 슬롯의 코히어런스 길이와, τ_p 의 파일럿 훈련 슬롯을 가진 경우, 합계 스펙트럼 효율(sum SE)은 수학식 32로 나타낼 수 있다.

$$R_{SE} = \frac{T - \tau_p}{2T} \sum_{k=1}^S R_k$$

[0232] [수학식 32]

[0233] 여기에서, R_k 는 첫 번째 단계와 두 번째 단계의 데이터 전송에서 k 번째 스몰셀(SC)의 전체 업링크/다운링크(UL/DL) 채널용량(achievable rate)으로, $R_k = R_{m,k}^{(1)} + R_{s,k}^{(1)} + R_{m,k}^{(2)} + R_{s,k}^{(2)}$ 이며, 수학식 16 내지 19를 이용하여 구할 수 있다.

[0234] 수학식 32에서, 파일럿 길이 τ_p 의 증가는 채널용량(achievable rate)을 향상 시키는 반면에, 합계 SE를 감소시키는 것을 알 수 있다.

[0235] 따라서 합계 SE를 최대화하기 위해, 파일럿 길이 τ_p 를 수학식 33 내지 34와 같이 최적화할 수 있다.

$$\mathbb{P} : \underset{\tau_p}{\text{maximize}} R_{SE}$$

[0236] [수학식 33]

$$\text{subject to } 2S \leq \tau_p \leq T$$

[0237] [수학식 34]

[0238] 수학식 34의 제약은 채널 추정에 이용되는 파일럿 시퀀스들이 서로 직교하는 것을 보장하기 위한 것이다.

[0239] 수학식 33의 최적화 문제는 볼록함(convexity)을 가지고 있어서, 이분법(bisection)처럼 1 차원 라인 탐색 방법으로 효율적으로 최적값을 구할 수 있다.

[0241] <실시예> 시뮬레이션 결과 - 첫번째 단계

[0242] 본 발명에서 개시한 시스템에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하여 시스템의 성능을 평가하였다. 모든 시뮬레이션은 10^5 채널에 대하여 수행하였고, 신호 대 노이즈 비(signal-to-noise ratio; SNR)는 $SNR \triangleq p_1 = p_2$ 로 정의한다.

[0243] 첫번째 단계(first phase)에 대해서는 특별히 언급되지 않는 한, 업링크(uplink; UL)의 경우, 모든 k에 대해 대규모 페이딩효과를 나타내는 $\beta_{1k} = \beta_1 = 0.1$ 이고, 매크로셀(macro cell; MC)에서의 자기간섭(self interference; SI)의 크기 $\sigma_m^2 = 0.3$ 이다.

[0244] 다운링크(downlink; DL)의 경우에는, 모든 k에 대해 $\beta_{2k} = \beta_2 = 0.1$ 이고, k번째 스몰셀(small cell; SC)에서의 자기간섭(self interference; SI)은 $\sigma_{s,k}^2 = \sigma_s^2 = 0.3$ 이고, k번째 스몰셀(SC)에서의 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭은 $\sigma_{c,k}^2 = \sigma_c^2 = 0.3$ 이다.

[0245] 파일럿 전력은 $p_\tau = 10$ dB 이고, 파일럿 길이는 $\tau_p = 2S$ 이다. 여기에서 S는 스몰셀(SCs)의 개수이다. 또한, 특별히 언급하지 않은 경우, $p_1 = p_2 = 10$ dB이다.

[0246] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신의 첫 번째 단계에서 SNR에 따른 달성 가능한 합계 전송률을 수학식으로 구한 결과와 시뮬레이션으로 얻은 결과를 비교하는 그래프이다.

[0247] 첫 번째 단계에서 달성 가능한 합계 전송률(achievable sum-rate)을 구하기 위해, 먼저 모든 스몰셀(SCs)에 대해, 수학식 16에서 각각의 매크로셀(MC)로의 업링크 달성 가능 전송률 $R_{m,k}^{(1)}$ 를 구하고, 수학식 17에서 각각의 스몰셀(SC)로의 다운링크 달성 가능 전송률 $R_{s,k}^{(1)}$ 를 구하였다. 그리고 전체 합계 전송률(total sum-rate)을 구하기 위해 모든 스몰셀(SCs)에 대해 업링크 전송률(UL rate)과 다운링크 전송률(DL rate)을 더하였다.

- [0248] 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 수학적식에서 구한 결과이다. 매크로셀(MC)의 수신 안테나 수 $M_{rx} = 200$ 이고, 스몰셀(SC) 2개($S = 2$)의 각각의 수신 안테나 수 $N_{rx} = 100$ 인 상대적으로 적은 안테나 수의 경우에도, 수학적식으로 구한 합계 전송률(achievable sum-rate)결과가 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 즉, 정리 1(Theorem 1)의 수학적식 16과 수학적식 17으로 얻은 결과는 시스템 성능을 잘 예측할 수 있음을 알 수 있다.
- [0249] 합계 전송률(sum-rate)은 SNR이 증가함에 따라 증가하나, SNR이 14 dB 를 넘으면 전송률은 포화되기 시작한다. 또한, 합계 전송률(sum-rate)은 스몰셀(SCs)의 수 S 와, 수신 안테나 수 M_{rx} 와 N_{rx} 가 증가함에 따라 향상됨을 알 수 있다.
- [0250] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 매크로셀(MC) 수신 안테나 수 M_{rx} 에 따른 업링크(UL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.
- [0251] 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 수학적식 16으로 구한 전이중(full-duplex; FD) 모드의 결과이고, 일점쇄선은 수학적식 20으로 구한 반이중(half-duplex; HD) 모드의 결과이다. FD 모드 뿐만 아니라 HD 모드에서도, 합계 전송률(sum-rate)은 매크로셀(MC) 수신 안테나 수 M_{rx} 가 증가할수록 향상된다.
- [0252] FD모드에서는 간섭 σ_m^2 , σ_s^2 , σ_c^2 의 세기가 커짐에 따라 합계 전송률이 감소한다. 스몰셀의 수 S 가 증가하면 높은 전송률을 나타내지만, 스몰셀간 간섭이 증가하기 때문에 자기간섭(SI)과 스몰셀간 간섭(SC-to-SC interference)의 악영향을 극복하기 위해, FD 모드에서는 더 많은 안테나가 필요하다.
- [0253] 즉, 도 4의 FD 모드에서는, 스몰셀의 수 S 가 5에서 10으로 증가하면 높은 합계 전송률(sum-rate)을 보이지만, 자기간섭(SI)의 크기 σ_m^2 이 0.4에서 0.5로 증가하면, 자기간섭을 극복하여 HD 모드보다 높은 합계 전송률을 얻기 위해서는 훨씬 많은 수신 안테나 수가 필요한 것을 알 수 있다.
- [0254] 수신 안테나 수 M_{rx} 가 적은 경우 자기간섭(SI)의 영향으로 FD 모드의 합계 전송률은 HD 모드의 합계 전송률보다 낮다. FD 모드와 HD 모드의 전송률 교차점에 해당하는 매크로셀(MC) 수신 안테나 수를 M_{rx0} 라 하면, 업로드 링크(UL)에서, 자기간섭(SI)의 영향을 극복하여 HD 모드보다 전송률이 커지는 FD 모드의 매크로셀 수신 안테나 수는 $M_{rx} > M_{rx0}$ 이어야 한다. 도 4에서 M_{rx0} 에 해당하는 교차점을 ○로 표시하였다.
- [0255] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 스몰셀(SC) 수신 안테나 수 N_{rx} 에 따른 다운링크(DL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.
- [0256] 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 수학적식 17로 구한 전이중(FD) 모드의 결과이고, 일점쇄선은 수학적식 21으로 구한 반이중(HD) 모드의 결과이다. 도 4와 마찬가지로 도 5에서도, FD 모드 뿐만 아니라 HD 모드에서도, 합계 전송률(sum-rate)은 스몰셀(SC) 수신 안테나 수 N_{rx} 가 증가할수록 향상된다.
- [0257] FD모드에서는 간섭 σ_m^2 , σ_s^2 , σ_c^2 의 세기가 커짐에 따라 합계 전송률이 감소한다. 스몰셀의 수 S 가 증가하면 높은 전송률을 나타내지만, 스몰셀간 간섭이 증가하기 때문에 자기간섭(SI)과 스몰셀간 간섭(SC-to-SC interference)의 악영향을 극복하기 위해, FD 모드에서는 더 많은 안테나가 필요하다.
- [0258] 즉, 도 5의 FD 모드에서는, 스몰셀의 수 S 가 5에서 10으로 증가하면 높은 합계 전송률(sum-rate)을 보이지만, 자기간섭(SI)의 크기 σ_s^2 이 0.4에서 0.5로 증가하고, 스몰셀간 간섭의 크기 σ_c^2 이 0.3에서 0.4로 증가하면, 자기간섭을 극복하여 HD 모드보다 높은 합계 전송률을 얻기 위해서는 훨씬 많은 수신 안테나 수가 필요한 것을 알 수 있다.
- [0259] 수신 안테나 수 N_{rx} 가 적은 경우 자기간섭(SI) 및 스몰셀간 간섭(SC-to-SC interference)의 영향으로 FD 모드의 합계 전송률은 HD 모드의 합계 전송률보다 낮다. FD 모드와 HD 모드의 전송률 교차점에 해당하는 스몰셀(MC) 수신 안테나 수를 N_{rx0} 라 하면, 다운로드 링크(DL)에서 자기간섭과 스몰셀간 간섭의 영향을 극복하여 HD 모드보다 전송률이 커지는 FD 모드의 스몰셀 수신 안테나 수는 $N_{rx} > N_{rx0}$ 이어야 한다. 도 5에서 N_{rx0} 에 해당하는 교차점을 ○로 표시하였다.
- [0260] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 자기간섭(SI)의 크기에 따른 업링크(UL) 합계 전

송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.

- [0261] S = 5 인 경우에, 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 전이중(FD) 모드의 결과이고, 일점쇄선은 반이중(HD) 모드의 결과이다. HD 시스템은 자기간섭(SI)에 영향을 받지 않기 때문에 HD 합계 전송률은 고정된 값을 나타낸다. 반면에, FD 시스템에서는 매크로셀의 송신 안테나로부터 수신 안테나로의 자기간섭(SI)의 크기 σ_m^2 이 증가함에 따라 합계 전송률이 급격히 감소한다. HD 모드와 FD 모드의 교차점은 수학적 식 24에 의해서 정확히 계산될 수 있다.
- [0262] FD 시스템은 낮은 자기간섭 영역에서 HD 시스템보다 우수한 성능을 보이므로, 자기간섭(SI)의 크기에 따라 동작 모드를 바꿀 수 있는 하이브리드 FD/HD 시스템을 적용하는 것이 바람직하다.
- [0263] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 크기에 따른 다운링크(DL) 합계 전송률(sum-rate)을 나타내는 그래프이다.
- [0264] S = 5 인 경우에, 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 전이중(FD) 모드의 결과이고, 일점쇄선은 반이중(HD) 모드의 결과이다. HD 시스템은 자기간섭(SI)에 영향을 받지 않기 때문에 HD 합계 전송률은 고정된 값을 나타낸다. 반면에, FD 시스템에서는 스몰셀의 송신 안테나로부터 수신 안테나로의 자기간섭(SI)의 크기 σ_s^2 과 다른 스몰셀의 송신 안테나로부터의 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 크기 σ_c^2 이 증가함에 따라 합계 전송률이 급격히 감소한다. HD 모드와 FD 모드의 교차점은 수학적 식 26에 의해서 정확히 계산될 수 있다.
- [0265] FD 시스템은 낮은 자기간섭 영역에서 HD 시스템보다 우수한 성능을 보이므로, 자기간섭(SI)과 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭의 크기에 따라 동작모드를 바꿀 수 있는 하이브리드 FD/HD 시스템을 적용하는 것이 바람직하다.
- [0266] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 수신 안테나의 수에 따른 업링크(UL)와 다운링크(DL) 합계 전송률을 나타내는 그래프이다.
- [0267] 매크로셀(MC)에서의 자기간섭(SI)의 크기 $\sigma_m^2 = 0.4$ 로 설정하고, 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI)은 $\sigma_{s,k}^2 = \sigma_s^2 = 0.4$ 로, 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭도 $\sigma_{c,k}^2 = \sigma_c^2 = 0.4$ 로 설정하였다. 또한, $p_1 = E_1 / M_{rx}$ 이고, $P_2 = E_2 / N_{rx}$ 이며, 여기에서 E_1 와 E_2 는 안테나 수가 증가하여도 항상 상수값을 갖도록 $E_1 = E_2 = 15$ dB 로 설정하였다. 스몰셀의 수신 안테나 수는 매크로셀의 수신 안테나 수의 절반으로 설정하였다. 즉, $N_{rx} = M_{rx} / 2$ 이다.
- [0268] 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 전이중(FD) 모드의 결과이다. 각각의 그래프에서 위쪽이 S = 5 인 경우이고, 아래쪽이 S = 3 인 경우이다. 수신 안테나 수가 증가할수록 합계 전송률이 증가하지만, 점점 포화되어 간다. 이것은 수신 안테나 수의 증가에 따른 전송률 상승효과와 전송 전력 p_1 과 p_2 가 작아지는 효과 사이의 균형 때문이다. 이러한 결과는 수학적 식 28과 수학적 식 29의 결과와 일치한다.
- [0269] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 일정한 업링크(UL)와 다운링크(DL) 전송률을 얻기 위한 전력을 수신 안테나의 수의 변화에 따라 나타낸 그래프이다.
- [0270] 매크로셀(MC)과 스몰셀(SC)에서의 자기간섭(SI)의 크기는 $\sigma_m^2 = \sigma_s^2 = 0.4$ 로 설정하였으나, 스몰셀간(SC-to-SC) 간섭은 $\sigma_c^2 = 0.2$ 로 설정하였다.
- [0271] Case 1에서, 매크로셀(MC) 전송 전력은 $p_2 = 5$ dB 로 고정되었고, 각 매크로셀(MC) 수신 안테나 수 M_{rx} 에 대해, 업링크(UL) 전송률이 1 bps/Hz 가 되도록 k번째 스몰셀(SC) 전송 전력 p_1 을 구했다.
- [0272] 매크로셀 수신 안테나 수 $M_{rx} = 20$ 인 경우, 스몰셀(SC) 전송 전력은 4.01 dB 이었으나, 매크로셀 수신 안테나 수가 $M_{rx} = 400$ 으로 증가된 경우, 스몰셀 전송 전력은 -9.5467 dB로 굉장히 많이 줄어들게 된다.
- [0273] 스몰셀 수 S 가 2에서 5로 증가하는 경우에는, 스몰셀의 자기간섭과 스몰셀간 간섭이 증가하여 스몰셀 전송 전력이 커지게 된다.
- [0274] Case 2에서는, k번째 스몰셀(SC) 전송 전력은 $p_1 = 5$ dB 로 고정되었고, 각 스몰셀(SC) 수신 안테나 수 N_{rx} 에

대해, 다운로드(DL) 전송률이 1 bps/Hz 가 되도록 매크로셀(MC) 전송 전력 p_2 를 구했다.

[0275] Case 1과 마찬가지로 Case 2에서도, 스몰셀 수신 안테나 수 N_{rx} 가 증가되면 매크로셀 전송 전력은 줄어들게 된다. 스몰셀 수 S 가 2에서 5로 증가하는 경우에는 매크로셀 전송 전력이 조금 커진다.

[0277] **<실시예> 시뮬레이션 결과 - 두번째 단계**

[0278] 두 번째 단계(second phase)에 대해서는 특별히 언급되지 않는 한, 업링크(uplink; UL)의 경우, 모든 k 에 대해 대규모 페이딩효과를 나타내는 $\beta_{2k} = \beta_2 = 0.1$ 이고, 분산 $\eta_{m,k}^2 = \eta_m^2 = 0.3$ 이다.

[0279] 다운링크(downlink; DL)의 경우에는, 모든 k 에 대해 $\beta_{1k} = \beta_1 = 0.1$ 이고, 분산 $\eta_{s,k}^2 = \eta_s^2 = 0.3$ 이고, 분산 $\eta_{c,k}^2 = \eta_c^2 = 0.3$ 이다.

[0280] 파일럿 전력은 $p_\tau = 10$ dB 이고, 파일럿 길이는 $\tau_p = 2S$ 이다. 여기에서 S 는 스몰셀(SCs)의 개수이다. 그리고 $\sigma_m^2 = \sigma_s^2 = \sigma_c^2 = 0.3$ 이다.

[0281] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템의 백홀링크 무선통신의 두 번째 단계에서 SNR에 따른 달성 가능한 합계 전송률을 수학적식으로 구한 결과와 시뮬레이션으로 얻은 결과를 비교하는 그래프이다.

[0282] 두 번째 단계에서 달성 가능한 합계 전송률(achievable sum-rate)을 구하기 위해, 먼저 모든 스몰셀(SCs)에 대해, 수학적식 18에서 각각의 매크로셀(MC)로의 업링크 달성 가능 전송률 $R_{m,k}^{(2)}$ 를 구하고, 수학적식 19에서 각각의 스몰셀(SC)로의 다운링크 달성 가능 전송률 $R_{s,k}^{(2)}$ 를 구하였다. 그리고 전체 합계 전송률(total sum-rate)을 구하기 위해 모든 스몰셀(SCs)에 대해 업링크 전송률(UL rate)과 다운링크 전송률(DL rate)을 더하였다.

[0283] 별표는 시뮬레이션의 결과이고, 실선은 수학적식에서 구한 결과이다. 매크로셀(MC)의 송신 안테나 수 $M_{tx} = 200$ 이고, 스몰셀(SC) 2개($S = 2$)의 각각의 송신 안테나 수 $N_{tx} = 100$ 인 상대적으로 적은 안테나 수의 경우에도, 수학적식으로 구한 합계 전송률(achievable sum-rate)결과가 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 즉, 정리 2(Theorem 2)의 수학적식 18과 수학적식 19로 얻은 두 번째 단계의 결과는 동일한 파라미터를 사용한 첫 번째 결과와 동일하다. 따라서 두 번째 단계에서도 첫 번째 단계에서 얻은 시스템을 동일하게 사용할 수 있다.

[0285] **<실시예> 시뮬레이션 결과 - 파일럿 길이 영향**

[0286] 제안된 시스템의 전체 합계 스펙트럼 효율(SE)에 대한 파일럿 길이 τ_p 의 영향을 검토하였다. 특별히 언급되지 않는 한, 파일럿 전력은 $p_\tau = 0$ dB 이고, 코히어런스 길이(coherence interval)는 $T = 50$ 이다. 표준편차 $\beta_1 = \beta_2 = 0.1$ 이고, 분산 $\eta_m^2 = \eta_s^2 = \eta_c^2 = 0.3$ 이고, 간섭은 $\sigma_m^2 = \sigma_s^2 = \sigma_c^2 = 0.3$ 로 설정하였다.

[0287] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 몇 개의 스몰셀 수 S 에 대하여 파일럿 길이에 대한 전체 스펙트럼 효율(SE)을 나타내는 그래프이다.

[0288] 각각의 스몰셀 수 S 에 대해, 파일럿 길이 τ_p 는 $2S$ 에서 T 까지의 값으로 변화하며 전체 스펙트럼 효율(SE)을 구하였다.

[0289] 전체 스펙트럼 효율(SE)은 초기에 파일럿 길이에 따라 증가하지만, 최적의 파일럿 길이 τ_p^* 를 지나면 감소하기 시작한다. 따라서 전체 스펙트럼 효율(SE)과 채널 추정에 이용 될 수있는 파일럿 길이 사이에는 상충관계가 존재한다. 따라서 전체 스펙트럼 효율(SE)을 최대화 시킬 수 있는 최적의 파일럿 길이 τ_p^* 를 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 최적의 파일럿 길이 τ_p^* 는 경사하강법(gradient descent)을 사용하여 구할 수 있다. 도 11에서 최적의 파일럿 길이 τ_p^* 에 해당하는 위치를 ○로 표시하였다.

[0290] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 네트워크 시스템에서 SNR에 대한 전체 스펙트럼 효율(SE)을 고정된

파일럿 길이의 경우와 최적화된 파일럿 길이의 경우에 대하여 비교하여 나타낸 그래프이다.

- [0291] 최적화된 파일럿 길이 τ_p^* 의 전체 스펙트럼 효율(SE)은 파일럿 길이가 $\tau_p = 2S$ 로 고정된 경우보다 모든 SNR 영역에서 높다. 그러나 스몰셀의 수 S 가 증가함에 따라, 파일럿 길이가 $\tau_p = 2S$ 로 고정된 경우의 스펙트럼 효율(SE)이 최적화된 파일럿 길이의 경우에 근접해 감을 알 수 있다.
- [0293] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 이종 네트워크 시스템에서 매크로셀의 통신방법을 나타내는 순서도이다.
- [0294] 매크로셀의 제어부에서, 제1 시구간에서, 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 와 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 을 비교한다(S700).
- [0295] 제1 시구간의 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 큰 경우, 전이중(FD) 모드로 동작한다.
- [0296] 제1 시구간(첫 번째 단계)에서(S710), 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 스몰셀 개수에 해당하는 안테나를 송신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 수신에 사용하도록 설정한다(S731). 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 S 개의 송신 안테나로 S 개의 스몰셀에 각각 송신하면서, 동시에 M_{rx} 개의 수신 안테나로 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신한다(S733).
- [0297] 제2 시구간(두 번째 단계)에서(S720), 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 스몰셀 개수에 해당하는 안테나를 수신에 사용하도록 설정하고 나머지 M_{rx} 개의 안테나는 송신에 사용하도록 설정한다(S735). 매크로셀 MIMO 안테나 중에서 S 개의 수신 안테나로 S 개의 스몰셀에서 송신된 데이터를 각각 수신하면서, 동시에 M_{rx} 개의 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신한다(S737).
- [0298] 만약, 제1 시구간의 매크로셀 MIMO 안테나의 수신 안테나 수 M_{rx} 가 수신 안테나 임계값 M_{rx0} 보다 작은 경우, 반이중(HD) 모드로 동작한다.
- [0299] 제1 시구간(S710)에서, 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 송신에 사용하도록 설정한다(S741). 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀로 데이터를 송신한다(S743).
- [0300] 제2 시구간(S720)에서, 매크로셀 서클레이터가 매크로셀 MIMO 안테나를 모두 수신에 사용하도록 설정한다(S745). 매크로셀 MIMO 안테나를 이용하여 스몰셀에서 송신된 데이터를 수신한다(S747).
- [0301] 스몰셀(SC)의 통신방법도 매크로셀(MC)과 유사한 방법으로 수행할 수 있으며, 통상의 기술자에게 자명하다.
- [0302] 이상에서 대표적인 실시 예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시 예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

부호의 설명

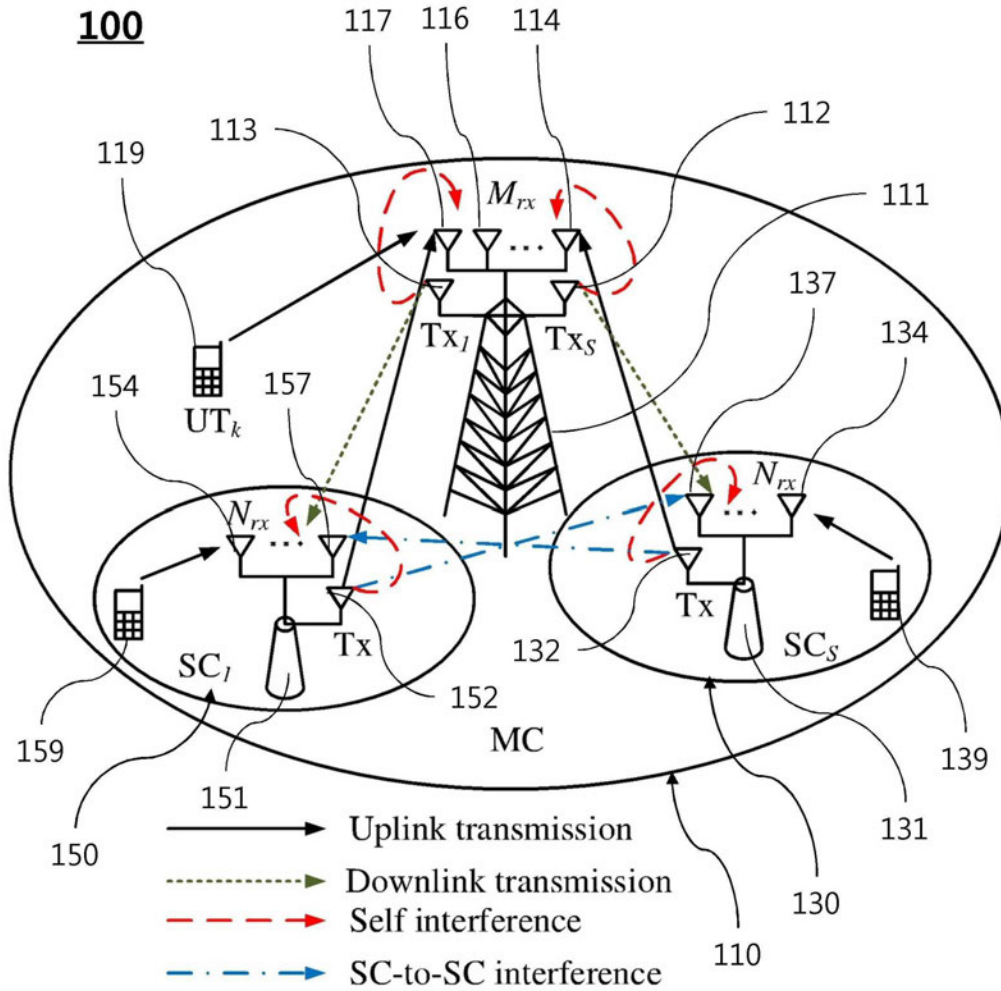
- [0303] 110 : 매크로셀(MC)
- 111 : 매크로셀 기지국
- 112, 113 : 매크로셀 송신 안테나
- 114, 116, 117 : 매크로셀 수신 안테나
- 119 : 고객 단말기
- 130, 150 : 스몰셀(SC)
- 131, 151 : 스몰셀 기지국
- 131, 152 : 스몰셀 송신 안테나

134, 137, 154, 157 : 스몰셀 수신 안테나

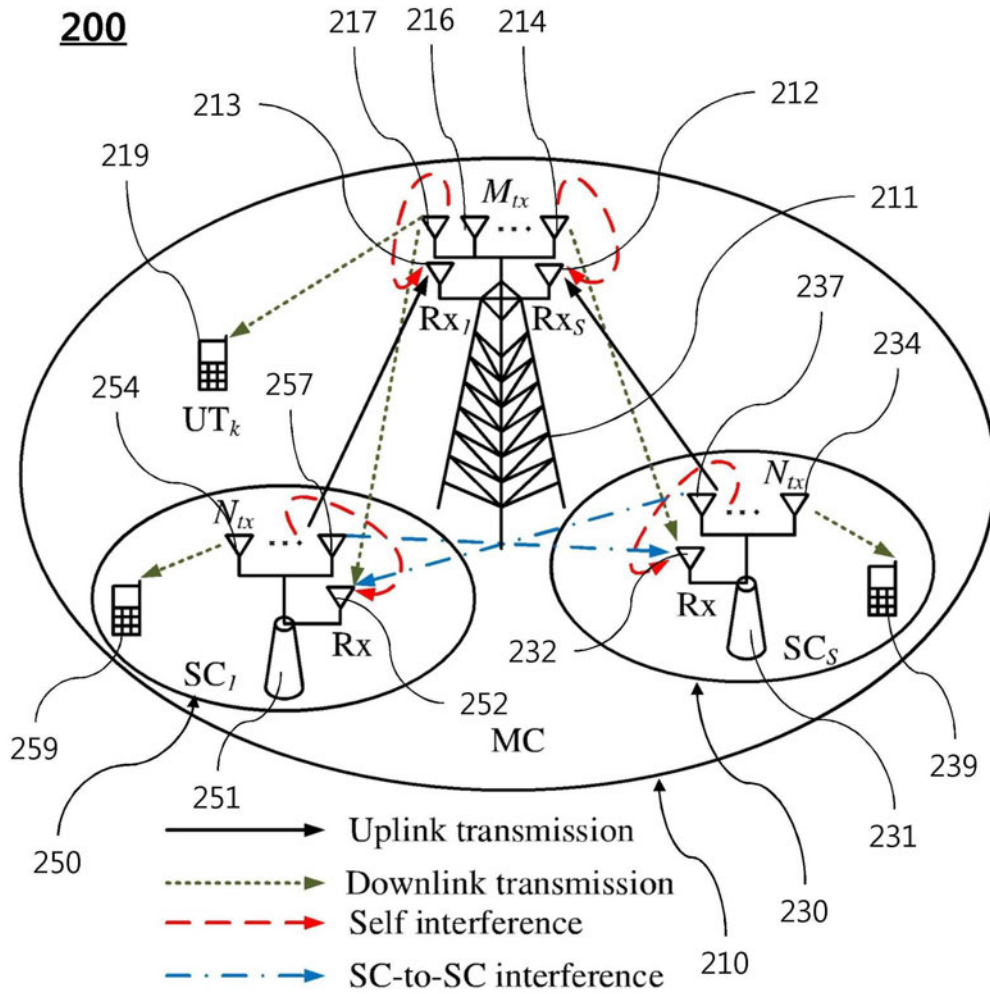
139, 159 : 고객 단말기

도면

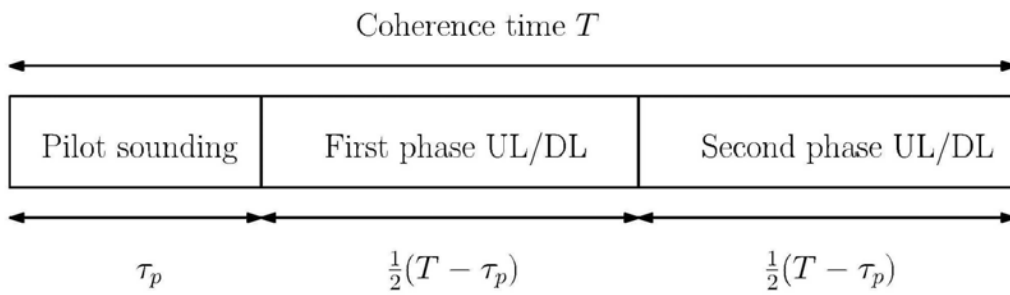
도면1a



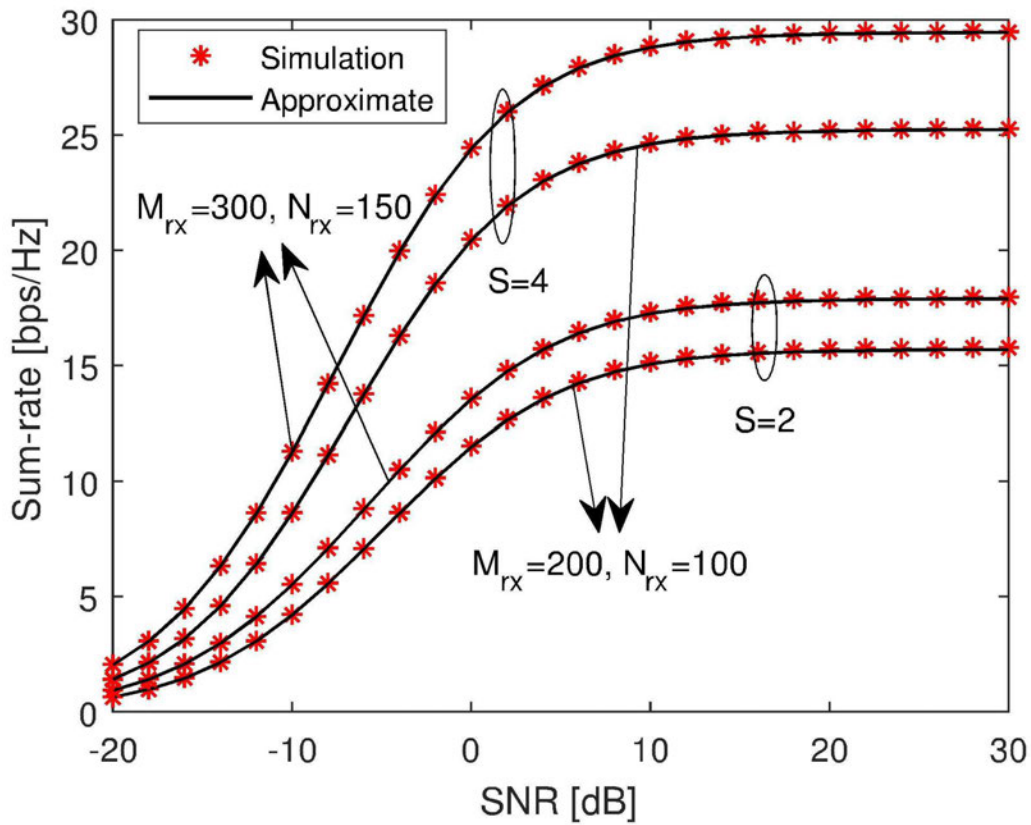
도면1b



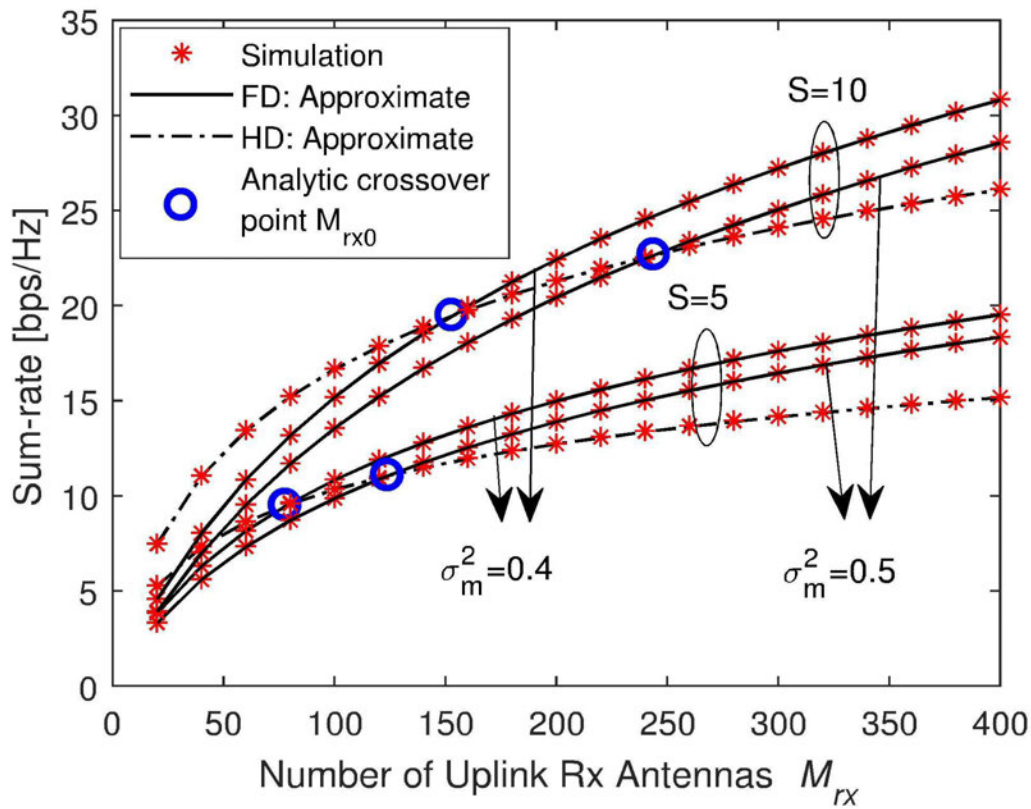
도면2



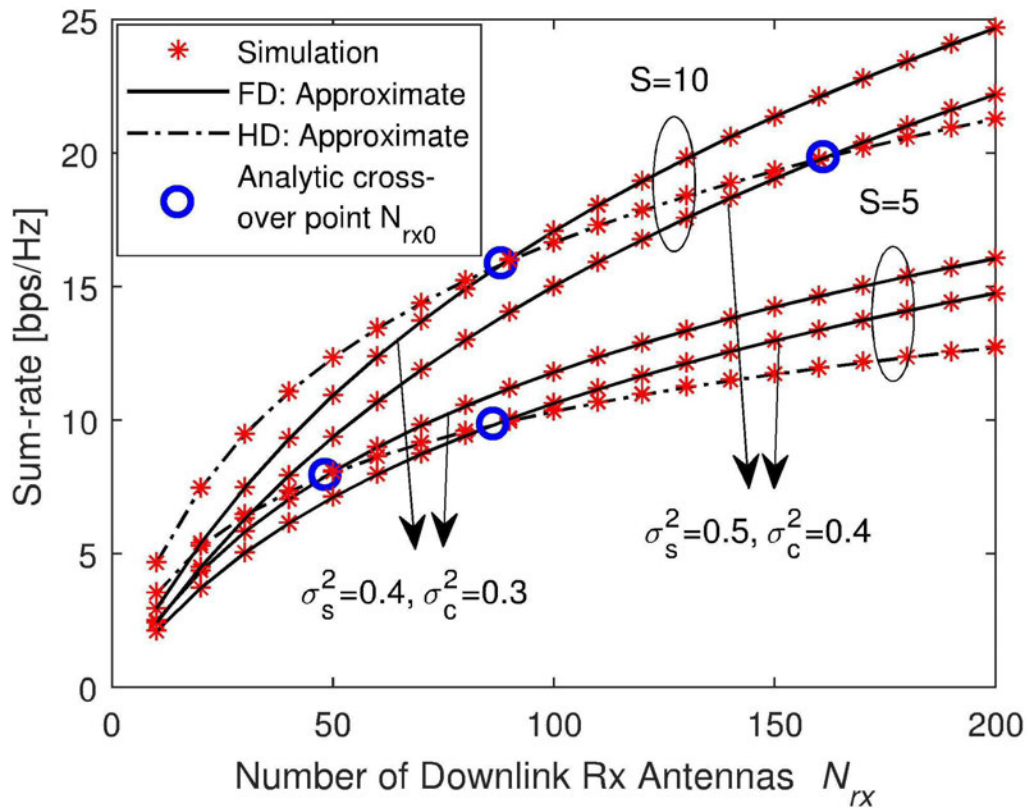
도면3



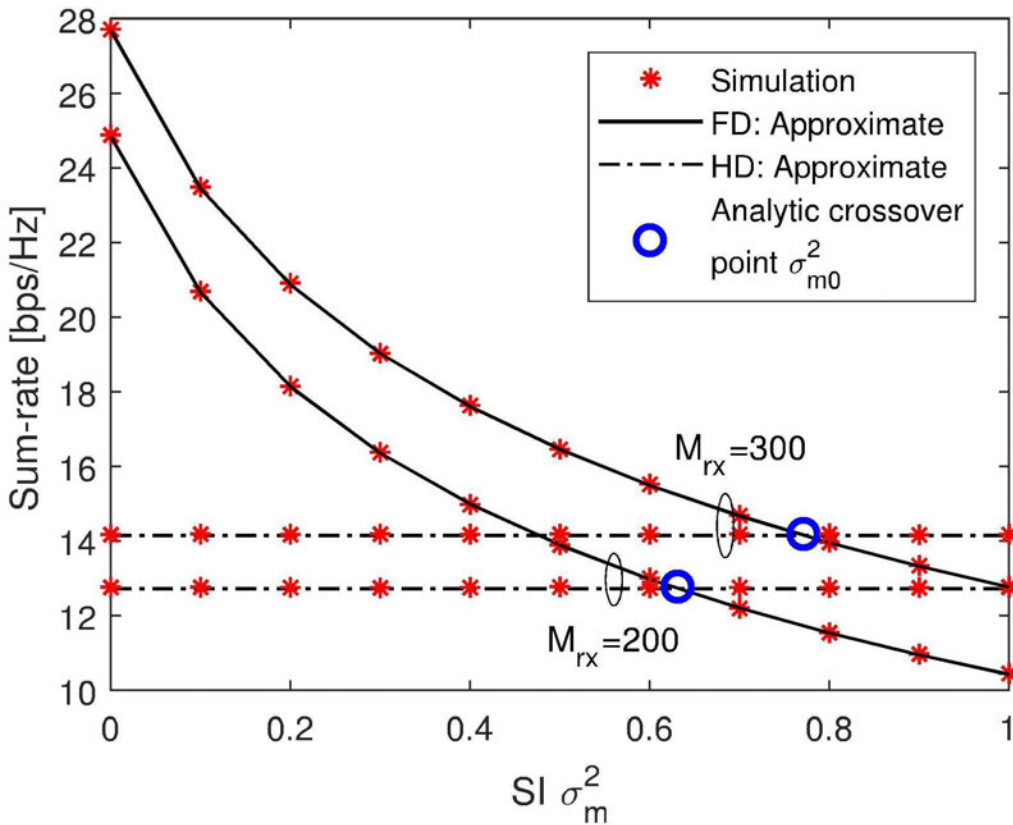
도면4



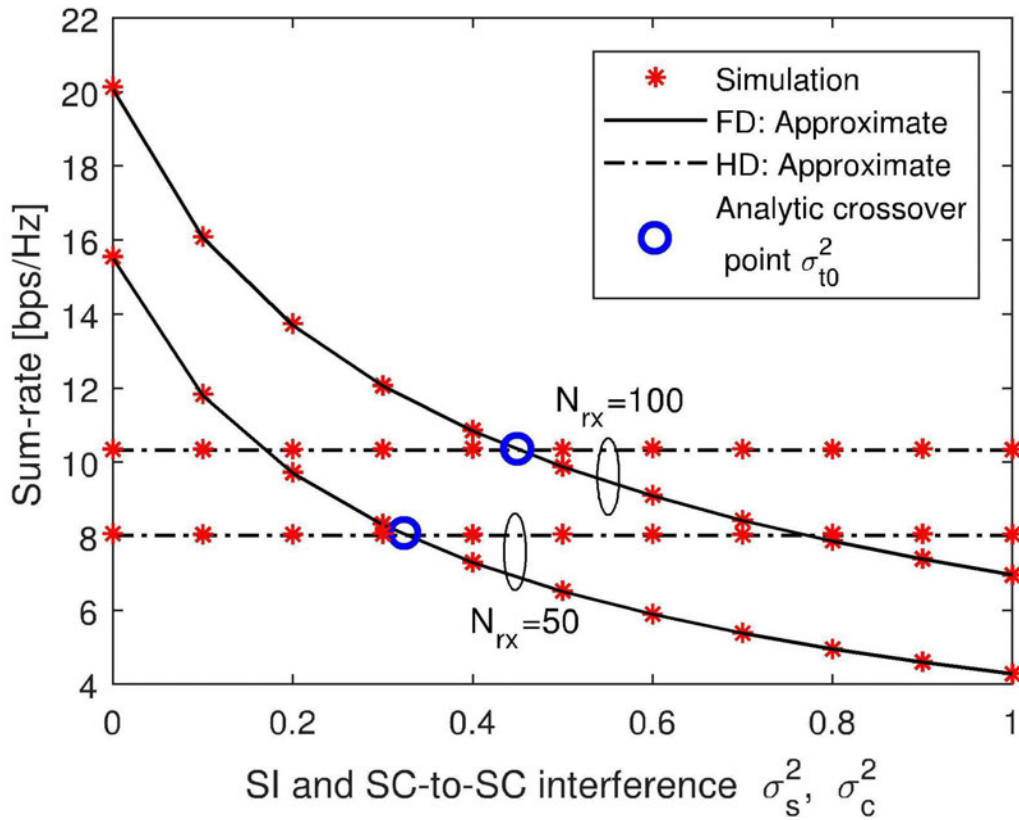
도면5



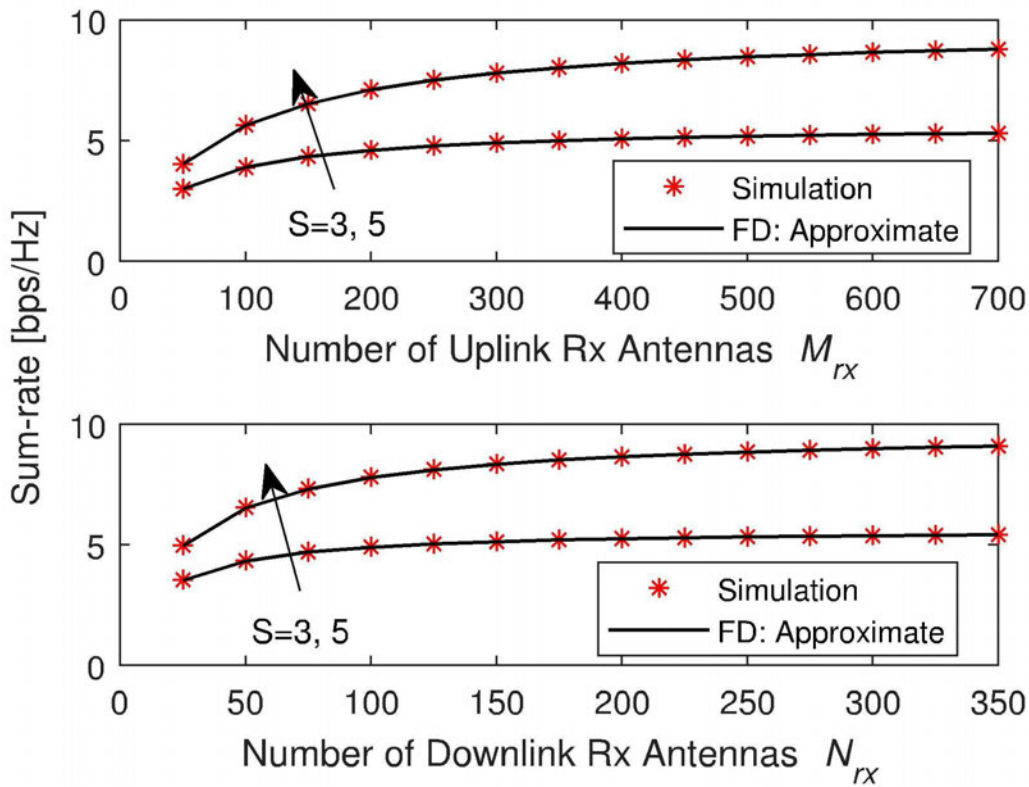
도면6



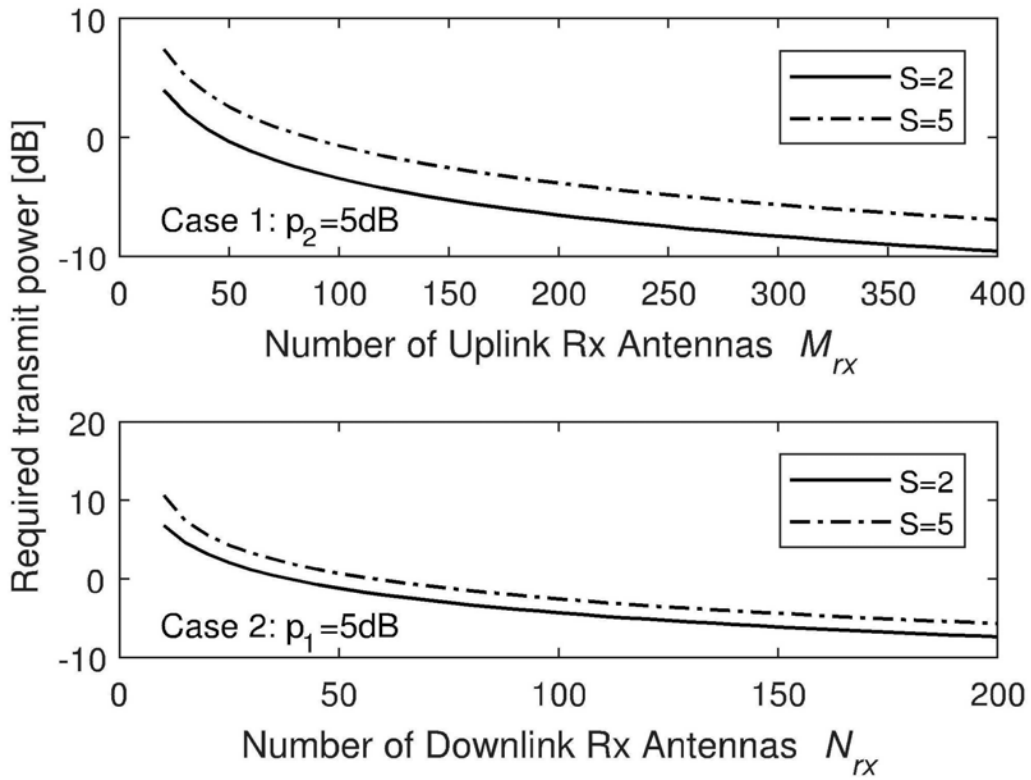
도면7



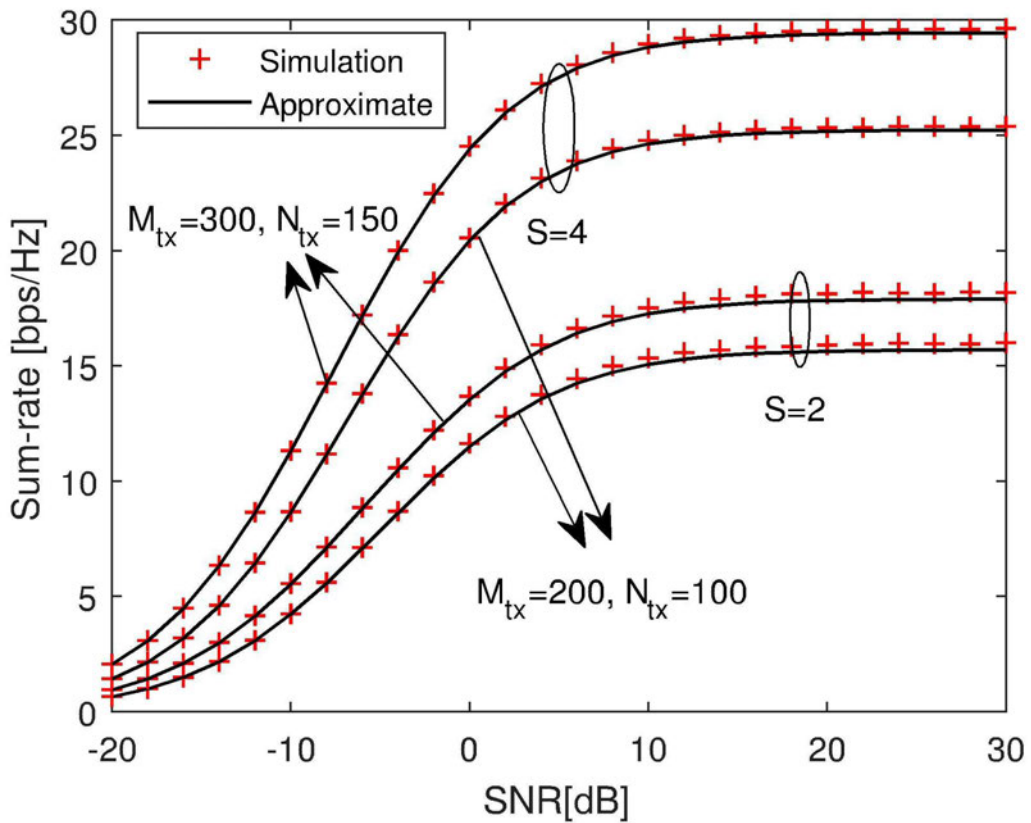
도면8



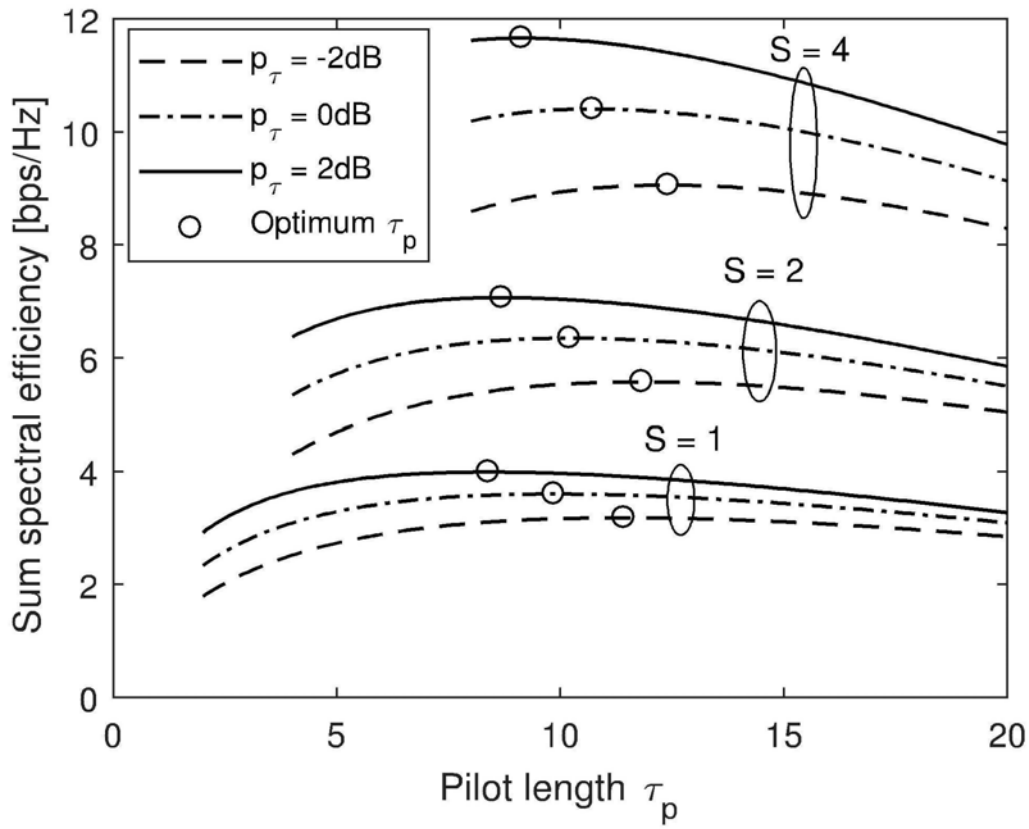
도면9



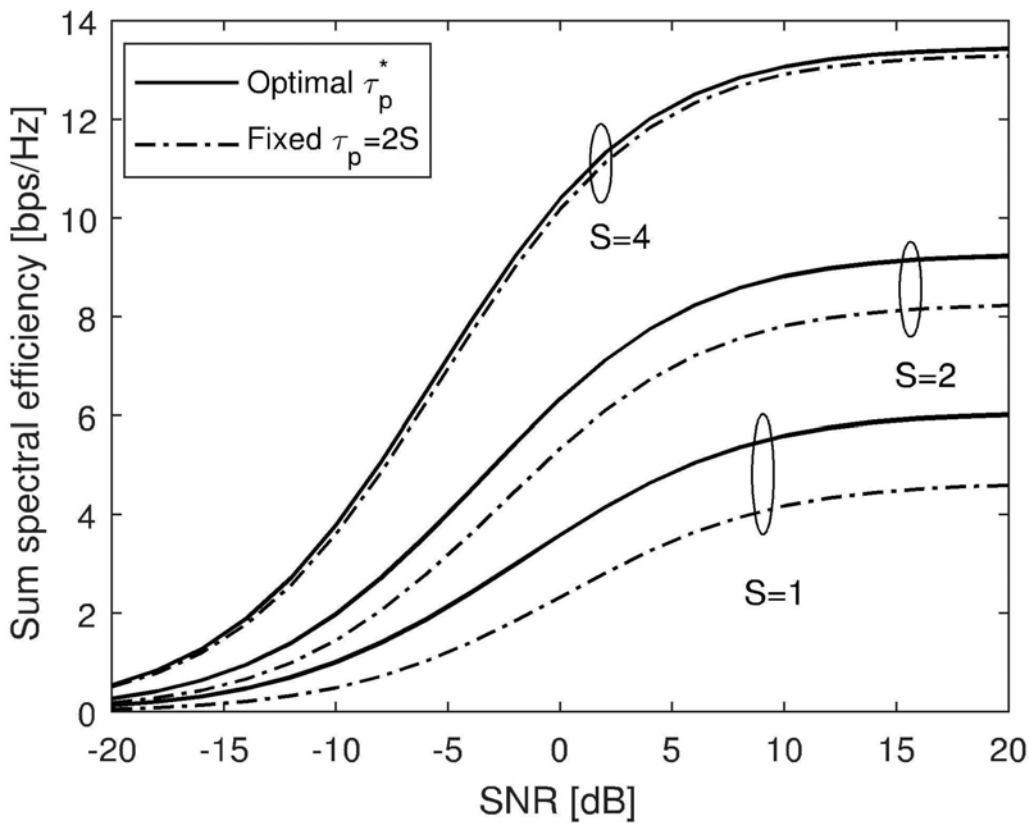
도면10



도면11



도면12



도면13

