



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년04월17일  
(11) 등록번호 10-1946218  
(24) 등록일자 2019년01월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04J 11/00 (2006.01) H04B 7/0413 (2017.01)  
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/08 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
H04J 11/0053 (2013.01)  
H04B 7/0413 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0152251  
(22) 출원일자 2018년11월30일  
심사청구일자 2018년11월30일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101478469 B1  
KR101694066 B1  
KR101731759 B1  
KR1020100130846 A

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
송형규  
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 한양아파트  
320동 303호  
백민재  
서울특별시 노원구 동일로230가길 15, 102동 190  
6호 (상계동, 상계우방아파트)  
김원창  
서울특별시 동작구 사당로29길 50, 302호  
(74) 대리인  
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 이정수

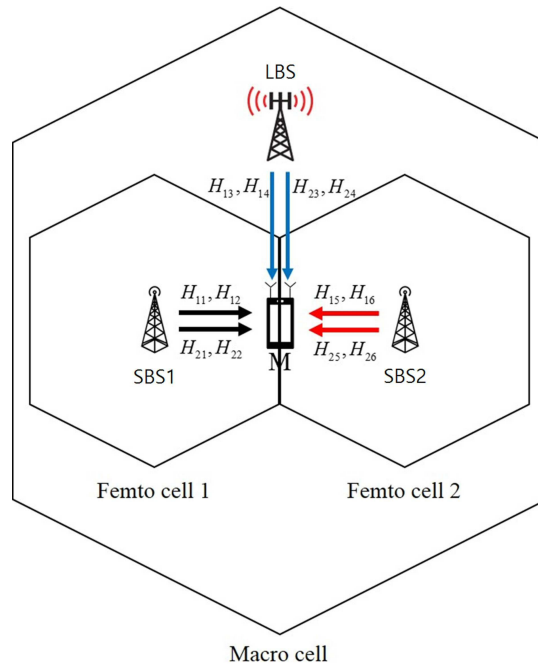
(54) 발명의 명칭 이기종 네트워크에서 셀간 간섭 완화를 위한 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템 및 그것을 이용한 협력 통신 방법

(57) 요약

본 발명은 MIMO-OFDM 기반의 셀간 협력 통신 시스템 및 그것을 이용한 협력 통신 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 두 개의 안테나를 가진 매크로셀과 스몰셀을 포함한 이기종 네트워크에서의 셀간 협력 통신 방법에 있어서, 제1 스몰셀 내 제1 스몰 기지국은 이동 단말로부터 매크로 기지국과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국과의 채널

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



널 상태를 수신하고 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악하는 단계와, 이동 단말이 제1 및 제2 스몰셀 간의 경계에 위치한 경우 매크로 기지국과 협력하여 제1 신호를 전송하는 단계와, 이동 단말은 자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 신호를 수신하되, 제1 스몰 기지국의 두 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나로부터 제1 신호를 수신하고 제2 스몰 기지국의 두 안테나로부터 제2 신호를 수신하는 단계, 및 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 제1 신호를 검출하는 단계를 포함한다.

본 발명에 따르면, HetNet 시스템에서 기지국들이 상호 협력하는 CoMP 기법과, 원하는 신호의 채널 계수를 증가시키되 간섭 신호의 채널 계수를 감소시키는 프리코딩 기법, 그리고 신호 검출 성능이 우수한 MIMO 검출 기법을 적용하여, 셀간 간섭의 영향을 완화하고 셀 가장자리에 있는 이동 단말의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

**H04B 7/0626** (2013.01)

**H04B 7/0854** (2013.01)

**H04J 2211/001** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711075702
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	정보통신기술인력양성(정보화)
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	1/1
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2019.02.28

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

두 개의 안테나를 가진 매크로셀과 스몰셀을 포함한 이기종 네트워크에서 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템을 이용한 셀간 협력 통신 방법에 있어서,

제1 스몰셀 내 제1 스몰 기지국은 이동 단말로부터 매크로 기지국과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국과의 채널 상태를 수신하고 상기 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악하는 단계;

상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 스몰셀 간의 경계에 위치한 경우에 상기 매크로 기지국과 협력하여 제1 신호를 전송하는 단계;

상기 이동 단말은 자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 신호를 수신하되, 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나로부터 상기 제1 신호를 수신하고 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나로부터 제2 신호를 수신하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출하는 단계를 포함하는 셀간 협력 통신 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

상기 이동 단말의 i번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학적식으로 정의되는 셀간 협력 통신 방법:

$$Y_1 = \underbrace{(H_{11} + H_{12} + H_{13} + H_{14})}_{a1} X_1 + \underbrace{(H_{15} + H_{16})}_{b1} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{(H_{21} + H_{22} + H_{23} + H_{24})}_{c1} X_1 + \underbrace{(H_{25} + H_{26})}_{d1} X_2 + N_2$$

여기서,  $H_{i1}, H_{i2}$ 는 상기 i번째 안테나와 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i3}, H_{i4}$ 는 상기 i번째 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i5}, H_{i6}$ 은 상기 i번째 안테나와 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기 i번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

**청구항 3**

청구항 2에 있어서,

상기 각 채널 간의 위상 관계를 기초로 상기 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보 및 상기 제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하는 단계; 및

상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보를 각각 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 스몰 기지국으로 공유하는 단계를 더 포함하며,

상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 신호를 수신하는 단계는,

상기 제1 스몰 기지국과의 각 채널과 상기 매크로 기지국과의 각 채널 상에 상기 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호를 수신하고, 상기 제2 스몰 기지국과의 각 채널 상에 상기 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호를 수신하는 셀간 협력 통신 방법.

**청구항 4**

청구항 3에 있어서,

상기 피드백 정보를 생성하는 단계는,

채널  $H_{i1}, H_{i2}, H_{i3}, H_{i4}$  간 위상차를 기초로 상기  $H_{i1}, H_{i2}, H_{i3}, H_{i4}$ 에 의한 합성 채널을 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보를 생성하고,  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$  간 위상차를 기초로 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 의한 합성 채널을 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하며,

상기  $H_{i1}, H_{i2}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널, 상기  $H_{i3}, H_{i4}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나 간 채널, 상기  $H_{i5}, H_{i6}$ 은 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널을 나타내는 셀간 협력 통신 방법.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 이동 단말의  $i$ 번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학식으로 정의되는 셀간 협력 통신 방법:

$$Y_1 = \underbrace{(P_3(P_1H_{11} + P_2H_{12}) + P_4H_{13}) + P_6H_{14}}_{a^2} X_1 + \underbrace{(P_7H_{15} + P_8H_{16})}_{b^2} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{P_{13}(P_{11}(P_9H_{21} + P_{10}H_{22}) + P_{12}H_{23}) + P_{14}H_{24}}_{c^2} X_1 + \underbrace{(P_{15}H_{25} + P_{16}H_{26})}_{d^2} X_2 + N_2$$

여기서,  $P_1 \sim P_6$  및  $P_9 \sim P_{14}$ 는 상기 건설적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i1}$  내지  $H_{i4}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $P_7, P_8, P_{15}, P_{16}$ 은 상기 파괴적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기  $i$ 번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

**청구항 6**

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 신호를 검출하는 단계는,

MMSE 검출 기법을 이용하여 상기 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출하는 셀간 협력 통신 방법.

**청구항 7**

청구항 3에 있어서,

상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보는 각각 2 bit 신호이며,

두 채널 간 위상차가 속하는 각도 구간을 기초로, 상기 두 채널 중 어느 한 채널의 위상은 유지하면서, 나머지 채널의 위상을 유지하거나, 90° 회전시키거나, 180° 회전시키도록 요청하는 정보를 포함하며,

상기 두 채널은,

단일 채널 대 단일 채널 또는 복수 채널을 합성한 합성 채널 대 단일 채널을 의미하는 셀간 협력 통신 방법.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서,

상기 건설적(Constructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^c$ ) 및 상기 파괴적(destructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^d$ )는 아래의 수학식으로 정의되는 셀간 협력 통신 방법:

$$P_2^c = \begin{cases} 1, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (\text{State 1}) \\ e^{-j\pi}, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (\text{State 2}) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (\text{State 3}) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (\text{State 4}) \end{cases}$$

$$P_2^d = \begin{cases} e^{-j\pi}, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (\text{State 1}) \\ 1, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (\text{State 2}) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (\text{State 3}) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (\text{State 4}) \end{cases}$$

여기서,  $\alpha$ 는 위상차를 의미한다.

**청구항 9**

두 개의 안테나를 가진 매크로셀 내의 매크로 기지국, 제1 및 제2 스몰셀 내의 제1 및 제2 스몰 기지국을 포함한 MIMO-OFDM 기반의 셀간 협력 통신 시스템에 있어서,

상기 제1 스몰 기지국은,

이동 단말로부터 매크로 기지국과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국과의 채널 상태를 수신하는 수신부;

상기 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악하는 분석부; 및

상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 스몰셀 간의 경계에 위치한 경우에 상기 매크로 기지국과 협력하여 제1 신호를 전송하는 전송부를 포함하며,

상기 이동 단말은,

자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 신호를 수신하되, 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나로부터 제1 신호를 수신하고 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나로부터 제2 신호를 수신하며, 상기 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출하는 셀간 협력 통신 시스템.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서,

상기 이동 단말의  $i$ 번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학적식으로 정의되는 셀간 협력 통신 시스템:

$$Y_1 = \underbrace{(H_{11} + H_{12} + H_{13} + H_{14})}_{a1} X_1 + \underbrace{(H_{15} + H_{16})}_{b1} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{(H_{21} + H_{22} + H_{23} + H_{24})}_{c1} X_1 + \underbrace{(H_{25} + H_{26})}_{d1} X_2 + N_2$$

여기서,  $H_{i1}, H_{i2}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i3}, H_{i4}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i5}, H_{i6}$ 은 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기  $i$ 번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

**청구항 11**

청구항 10에 있어서,

상기 제1 스몰 기지국은,

상기 각 채널 간의 위상 관계를 기초로 상기 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보 및 상기

제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하는 생성부를 더 포함하며,

상기 전송부는,

상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보를 각각 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 스몰 기지국으로 공유하며,

상기 이동 단말은,

상기 제1 스몰 기지국과의 각 채널과 상기 매크로 기지국과의 각 채널 상에 상기 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호를 수신하고, 상기 제2 스몰 기지국과의 각 채널 상에 상기 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호를 수신하는 셀간 협력 통신 시스템.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서,

상기 생성부는,

채널  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ ,  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 간 위상차를 기초로 상기  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ ,  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 에 의한 합성 채널을 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보를 생성하고,  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$  간 위상차를 기초로 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 의한 합성 채널을 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하며,

상기  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널, 상기  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 는 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나 간 채널, 상기  $H_{i5}$ ,  $H_{i6}$ 은 상기  $i$ 번째 안테나와 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널을 나타내는 셀간 협력 통신 시스템.

**청구항 13**

청구항 12에 있어서,

상기 이동 단말의  $i$ 번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학적식으로 정의되는 셀간 협력 통신 시스템:

$$Y_1 = \underbrace{(P_5(P_3(P_1H_{11} + P_2H_{12}) + P_4H_{13}) + P_6H_{14})}_{a^2} X_1 + \underbrace{(P_7H_{15} + P_8H_{16})}_{b^2} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{P_{13}(P_{11}(P_9H_{21} + P_{10}H_{22}) + P_{12}H_{23}) + P_{14}H_{24}}_{c^2} X_1 + \underbrace{(P_{15}H_{25} + P_{16}H_{26})}_{d^2} X_2 + N_2$$

여기서,  $P_1 \sim P_6$  및  $P_9 \sim P_{14}$ 는 상기 건설적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i1}$  내지  $H_{i4}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $P_7$ ,  $P_8$ ,  $P_{15}$ ,  $P_{16}$ 은 상기 파괴적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기  $i$ 번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

**청구항 14**

청구항 9 내지 청구항 13 중 어느 한 항에 있어서,

상기 이동 단말은,

MMSE 검출 기법을 이용하여 상기 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출하는 셀간 협력 통신 시스템.

**청구항 15**

청구항 11에 있어서,

상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보는 각각 2 bit 신호이며,

두 채널 간 위상차가 속하는 각도 구간을 기초로, 상기 두 채널 중 어느 한 채널의 위상은 유지하면서, 나머지 채널의 위상을 유지하거나, 90° 회전시키거나, 180° 회전시키도록 요청하는 정보를 포함하며,

상기 두 채널은,

단일 채널 대 단일 채널 또는 복수 채널을 합성한 합성 채널 대 단일 채널을 의미하는 셀간 협력 통신 시스템.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 건설적(Constructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^c$ ) 및 상기 파괴적(destructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^d$ )는 아래의 수학적식으로 정의되는 셀간 협력 통신 시스템:

$$P_2^c = \begin{cases} 1, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State 1) \\ e^{-j\pi}, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State 2) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State 3) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State 4) \end{cases}$$

$$P_2^d = \begin{cases} e^{-j\pi}, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State 1) \\ 1, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State 2) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State 3) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State 4) \end{cases}$$

여기서,  $\alpha$ 는 위상차를 의미한다.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 이기종 네트워크에서 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템 및 그것을 이용한 협력 통신 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 이기종 네트워크에서 인접 셀 간의 간섭 문제를 완화하여 이동 단말의 신뢰성을 높이는 셀간 협력 통신 시스템 및 그것을 이용한 협력 통신 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 무선 통신 환경에서 신호의 감쇄와 왜곡은 다중 경로 페이딩에 의해 발생한다. 이러한 문제는 다중 안테나를 사용함으로써 효과적으로 해결 할 수 있는데 MIMO-OFDM 기법이 대표적인 방법 중 하나이다.

[0003] OFDM 기법을 사용하게 되면 다중 경로 페이딩으로 인한 주파수 선택적 페이딩에 강인하게 되고 높은 대역폭 효율을 얻을 수 있다. 또한 송수신단에서 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 및 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 디지털 신호 처리를 쉽게 할 수 있다.

[0004] MIMO-OFDM 기법은 송수신단에서 다중안테나를 사용하여 OFDM 기법을 사용한 것이며, 다중의 안테나에서 전송하는 신호에 의해 이동 단말은 다이버시티 이득 및 멀티플렉싱 이득을 얻는다. 하지만 OFDM 직교 신호들 간 직교성이 지켜지지 않으면 신호들 간의 임의의 주파수 오프셋이 발생하게 되며 심볼 간 간섭을 야기한다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위해 HetNet(Heterogeneous Network) 시스템에서 소형 셀 기술을 적용할 수 있다. HetNet 시스템은 LTE(Long Term Evolution) 통신에서 표준으로 채택된 기술로, 큰 셀(이하, 매크로 셀)에 대한 소형 셀(이하, 스몰 셀)의 배치 시나리오에 따라 달리 적용된다. 그 중 하나의 시나리오는 매크로 셀(Macro cell) 내에 여러 개의 스몰 셀(펩토셀, 피코셀 등)이 존재하는 이기종 네트워크로, 매크로 셀과 스몰 셀의 기지국이 서로 협력하여 신호를 전송한다. 하지만, 이동 단말이 셀 외각에 위치한다면 인접 셀에서 발생한 신호로 인하여 셀 간 간섭이 발생하고 이동 단말의 신뢰성을 저하시키게 된다.

[0006] HetNet 시스템에서 사용되는 가장 중요한 기법 중 하나인 CoMP(Coordinated Multi-Point) 기법은 HetNet에서 저하된 이동 단말의 신뢰성을 향상시키기 위한 기법 중 하나로, 인접한 셀 내의 기지국끼리 서로 협력하는 기법이다. CoMP 기법의 경우 백홀(Backhaul)을 통해 이동 단말의 채널 상태 정보, 피드백 정보 등과 같은 정보들을 기지국들 간 상호 공유할 수 있으며 이러한 정보를 이용하여 기지국끼리 협력하여 이동 단말의 처리율과 신뢰성

을 높일 수 있다.

[0007] 하지만, HetNet 시스템의 경우 네트워크 내에 여러 개의 셀들이 존재하므로 셀간 간섭 신호의 문제가 존재하며 셀간 간섭 신호는 무선 통신의 신뢰성을 저하시키는 요인이 되므로, 간섭을 제거하거나 완화하기 위한 기법이 필수적으로 요구된다.

[0008] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제2015-0064834호(2015.06.12 공개)에 개시되어 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0009] 본 발명은, HetNet 시스템에서 발생하는 셀 간 간섭의 영향을 완화하여 이동 단말의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 MIMO-OFDM 기반의 셀간 협력 통신 시스템 및 그것을 이용한 협력 통신 방법을 제공하는데 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명은, 두 개의 안테나를 가진 매크로셀과 스몰셀을 포함한 이기종 네트워크에서 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템을 이용한 셀간 협력 통신 방법에 있어서, 제1 스몰셀 내 제1 스몰 기지국은 이동 단말로부터 매크로 기지국과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국과의 채널 상태를 수신하고 상기 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악하는 단계와, 상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 스몰셀 간의 경계에 위치한 경우에 상기 매크로 기지국과 협력하여 제1 신호를 전송하는 단계와, 상기 이동 단말은 자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 신호를 수신하되, 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나로부터 상기 제1 신호를 수신하고 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나로부터 제2 신호를 수신하는 단계, 및 상기 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출하는 단계를 포함하는 셀간 협력 통신 방법을 제공한다.

[0011] 또한, 상기 이동 단말의 i번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$Y_1 = \underbrace{(H_{11} + H_{12} + H_{13} + H_{14})}_{a1} X_1 + \underbrace{(H_{15} + H_{16})}_{b1} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{(H_{21} + H_{22} + H_{23} + H_{24})}_{c1} X_1 + \underbrace{(H_{25} + H_{26})}_{d1} X_2 + N_2$$

[0012] 여기서,  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ 는 상기 i번째 안테나와 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 는 상기 i번째 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나 간 채널,  $H_{i5}$ ,  $H_{i6}$ 은 상기 i번째 안테나와 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나 간 채널,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기 i번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

[0014] 또한, 상기 셀간 협력 통신 방법은, 상기 각 채널 간의 위상 관계를 기초로 상기 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보 및 상기 제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하는 단계, 및 상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보를 각각 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 스몰셀 기지국으로 공유하는 단계를 더 포함하며, 상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 신호를 수신하는 단계는, 상기 제1 스몰 기지국과의 각 채널과 상기 매크로 기지국과의 각 채널 상에 상기 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호를 수신하고, 상기 제2 스몰 기지국과의 각 채널 상에 상기 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호를 수신할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 피드백 정보를 생성하는 단계는, 채널  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ ,  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 간 위상차를 기초로 상기  $H_{i1}$ ,  $H_{i2}$ ,  $H_{i3}$ ,  $H_{i4}$ 에 의한 합성 채널을 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보를 생성하고,  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$  간 위상차를 기초로 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 의한 합성 채널을 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 이동 단말의 i번째 안테나의 수신 신호( $Y_i$ )는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$Y_1 = \underbrace{(P_5(P_3(P_1H_{11} + P_2H_{12}) + P_4H_{13}) + P_6H_{14})}_{a2} X_1 + \underbrace{(P_7H_{15} + P_8H_{16})}_{b2} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{P_{13}(P_{11}(P_9H_{21} + P_{10}H_{22}) + P_{12}H_{23}) + P_{14}H_{24}}_{c2} X_1 + \underbrace{(P_{15}H_{25} + P_{16}H_{26})}_{d2} X_2 + N_2$$

[0017]



[0018] 여기서,  $P_1 \sim P_6$  및  $P_9 \sim P_{14}$ 는 상기 건설적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i1}$  내지  $H_{i4}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $P_7, P_8, P_{15}, P_{16}$ 은 상기 파괴적 피드백 정보에 따라 상기  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $X_1$ 은 상기 제1 신호,  $X_2$ 는 상기 제2 신호,  $N_i$ 는 상기  $i$ 번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

[0019] 또한, 상기 제1 신호를 검출하는 단계는, MMSE 검출 기법을 이용하여 상기 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보는 각각 2 bit 신호이며, 두 채널 간 위상차가 속하는 각도 구간을 기초로, 상기 두 채널 중 어느 한 채널의 위상은 유지하면서, 나머지 채널의 위상을 유지하거나,  $90^\circ$  회전시키거나,  $180^\circ$  회전시키도록 요청하는 정보를 포함하며, 상기 두 채널은, 단일 채널 대 단일 채널 또는 복수 채널을 합성한 합성 채널 대 단일 채널을 의미할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 건설적(Constructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^c$ ) 및 상기 파괴적(destructive) 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^d$ )는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

[0022]

$$P_2^c = \begin{cases} 1, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State1) \\ e^{-j\pi}, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State2) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State3) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State4) \end{cases}$$

[0023]

$$P_2^d = \begin{cases} e^{-j\pi}, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State1) \\ 1, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State2) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State3) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State4) \end{cases}$$

[0024] 여기서,  $\alpha$ 는 위상차를 의미한다.

[0025] 그리고, 본 발명은, 두 개의 안테나를 가진 매크로셀 내의 매크로 기지국, 제1 및 제2 스몰셀 내의 제1 및 제2 스몰 기지국을 포함한 MIMO-OFDM 기반의 셀간 협력 통신 시스템에 있어서, 상기 제1 스몰 기지국은, 상기 이동 단말로부터 매크로 기지국과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국과의 채널 상태를 수신하는 수신부와, 상기 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악하는 분석부, 및 상기 이동 단말이 상기 제1 및 제2 스몰셀 간의 경계에 위치한 경우에 상기 매크로 기지국과 협력하여 제1 신호를 전송하는 전송부를 포함하며, 상기 이동 단말은, 자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 신호를 수신하되, 상기 제1 스몰 기지국의 두 안테나와 상기 매크로 기지국의 두 안테나로부터 제1 신호를 수신하고 상기 제2 스몰 기지국의 두 안테나로부터 제2 신호를 수신하며, 상기 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출할 수 있다.

[0026] 또한, 상기 제1 스몰셀 기지국은, 상기 각 채널 간의 위상 관계를 기초로 상기 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보 및 상기 제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하는 생성부를 더 포함하며, 상기 전송부는, 상기 건설적 및 파괴적 피드백 정보를 각각 상기 매크로 기지국 및 상기 제2 스몰셀 기지국으로 공유하며, 상기 이동 단말은, 상기 제1 스몰 기지국과의 각 채널과 상기 매크로 기지국과의 각 채널 상에 상기 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호를 수신하고, 상기 제2 스몰 기지국과의 각 채널 상에 상기 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호를 수신할 수 있다.

[0027] 또한, 상기 이동 단말은, MMSE 검출 기법을 이용하여 상기 수신 신호 벡터로부터 상기 제1 신호를 검출할 수 있다.

**발명의 효과**

[0028] 본 발명에 따르면, HetNet 시스템에서 기지국들이 상호 협력하는 CoMP 기법과, 원하는 신호의 채널 계수를 증가시키고 간섭 신호의 채널 계수를 감소시키는 프리코딩 기법, 그리고 신호 검출 성능이 우수한 MIMO 검출 기법을

적용하여, 셀간 간섭의 영향을 완화함은 물론 셀 가장자리에 있는 이동 단말의 신뢰성을 향상시켜 전체 HetNet 시스템의 통신 처리율과 신뢰성을 높일 수 있는 이점을 제공한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 기반의 셀간 협력 통신 시스템에서 셀간 간섭 완화를 위해 각 셀 내 기지국의 송수신단이 겪는 환경을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 일반적인 1-bit 기반의 건설적/파괴적 SPC 기법을 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예를 위한 2-bit 건설적/파괴적 SPC 기법을 설명하는 도면이다.
- 도 4는 일반적인 Full-bit SPC(MRT)을 사용할 경우 하나로 합쳐진 합성 채널 계수를 간략히 도시한 도면이다.
- 도 5는 일반적인 스몰셀 간 협력 통신 시스템을 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 이기종 네트워크에서 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 도 6에 도시된 스몰 기지국의 구성을 설명하는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에서 CoMP 기법을 이용하는 셀간 협력 통신 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예에서 CoMP 기법과 프리코딩 기법을 이용하는 셀간 협력 통신 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 시스템 모델에서 기존의 시스템 및 제안한 시스템의 SNR 대비 BER 그래프를 도시한 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 기존의 기법과 제안한 기법의 처리율을 SNR 대비 BER 그래프로 도시한 도면이다.
- 도 12는 pre-coding 기법의 비트 수에 따른 SNR 대비 BER 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 13은 ZF 기법과 MMSE 기법의 SNR 대비 BER 성능을 세 번째 및 네 번째 제안한 방법을 기반으로 모의실험한 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 14는 본 발명의 두 번째 제안 기법에서 이동 단말과 간섭신호의 기지국간 거리 증가에 따른 경로 감쇠로 인한 SNR 대비 BER 성능 그래프를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0030] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.
- [0031] 본 발명은 LTE 통신의 표준으로 채택된 이기종 네트워크(이하, HetNet)에서 셀간 간섭을 완화하기 위한 기술로서, HetNet 내의 인접 기지국들이 상호 협력하는 CoMP(Coordinated Multi-Point) 기법과 프리 코딩을 이용한 SPC(Spatial Phase Coding) 기법, 그리고 MIMO 검출 기법인 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법을 이용하여, 셀간 간섭을 완화하는 동시에 셀 가장자리에 위치한 이동 단말이 수신한 신호의 SINR을 증가시켜 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 기법을 제안한다.
- [0032] 본 발명의 실시예는 이동 단말이 셀 외각에 위치할 때 발생하는 셀간 간섭 완화 방법을 제공하며, 무선 통신의 가장 기본인 OFDM 전송 방식을 기반으로 한다. 그리고 본 발명의 실시예는 M개의 송신 안테나를 사용하고 N개의 수신 안테나를 사용하는 MIMO-OFDM 시스템을 고려한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 셀간 협력 통신 시스템에서 간섭을 완화하기 위해 셀 내 기지국의 송수신단이 겪는 과정을 도시한 도면이다. 도 1에서 좌측은 송신단, 우측은 수신단에 해당한다.
- [0034] 송신단에서 보내는 신호는 직렬에서 병렬로 변환되고 변조되어 심볼로 변환된다. 심볼은 OFDM 심볼로 변환 되기 전에 수신기의 Interleaved OFDM(IOFDM) 단계에서 채널 추정 및 채널 상태 정보(CSI:Channel State Information)에 의해 얻어진 피드백 정보를 통하여 구한 pre-coding 벡터에 의해 송신단에서 프리코딩된다.
- [0035] 이러한 과정을 거친 후, 프리코딩된 심볼들은 IFFT를 통해 OFDM 심볼의 각 부반송파에 삽입되고 OFDM 심볼들은 파형의 형태로 Cyclic Prefix(CP)와 함께 수신단으로 전송된다. 신호는 다중 경로 페이딩 채널을 통과한 후 수신기에서 잡음이 부여된 뒤 IOFDM 과정 이후 신호 검출 과정을 거치게 된다. 그 후 복조과정을 거쳐 신호를 추

정할 수 있다.

[0036] 도 1과 같이 수신기에서 CSI를 피드백 받아 pre-coding 벡터를 생성하고 생성한 pre-coding 벡터를 변조된 심볼에 pre-coding 하는 기법을 SPC라 한다. 여기서, SPC 기법은 신호의 크기를 더욱 향상시키는 건설적(Constructive) SPC 기법과, 신호의 크기를 감소시키는 파괴적(destructive) SPC를 포함한다.

[0037] 도 2는 일반적인 1-bit 기반의 건설적/파괴적 SPC 기법을 설명하는 도면이다. 도 2의 (a)는 1-bit 건설적 SPC 기법을 나타내고, (b)는 1-bit 파괴적 SPC 기법을 나타낸다.

[0038] 수학적 식 1은 1-bit 건설적 SPC 기법에 사용되는 프리코딩 벡터를 나타낸다.

**수학적 식 1**

$$P_1^c = \begin{cases} 1, & |\alpha^k| \leq \pi/2 \quad (State\ 1) \\ e^{-j\pi}, & \pi/2 < |\alpha^k| \leq \pi \quad (State\ 2) \end{cases}$$

[0040] 이때, 1 bit의 신호를 이용하므로 state 1, 2는 '1'과 '0'의 신호로 구분될 수 있다.

[0041] 수학적 식 1을 보면, 1-bit 건설적 SPC 기법의 경우, 두 채널  $H_1^k$  과  $H_2^k$  간의 위상차가 90° 이하(예각)일 때는 위상을 유지하고, 90° 이상(둔각)일 때는 두 채널 중 어느 한 채널(도 2의 경우  $H_2^k$ )의 위상을 180° 만큼( $e^{-j\pi}$ ) 회전시켜 변경함으로써, 두 채널 간의 합성 채널의 크기를 증가시키고 이를 통해 신호(원하는 신호)의 크기를 증가시킨다.

[0042] 도 2 (a)의 경우,  $H_1^k$  과  $H_2^k$  간의 상대적 위상 차( $\alpha$ )가 둔각인 경우로, 수학적 식 1에 의하면  $P=e^{-j\pi}$ 가 선택되므로,  $H_2^k$  를 180° 회전시키면 된다. 즉,  $H_2^k$  에 프리코딩 벡터( $P=e^{-j\pi}$ )를 곱하면,  $H_2^k$ 의 위상을 180° 변경할 수 있다. 회전 시킨 결과는  $\widehat{H}_T^k$  와 같다.

[0043] 위상 변경 후의  $H_1^k$  와  $H_2^k$  간 합성 채널( $\widehat{H}_T^k$ )의 크기는 위상 변경 전의  $H_1^k$  와  $H_2^k$  간 합성 채널( $H_T^k$ )의 크기보다 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같이, 두 채널의 합성 채널 계수의 크기가 증가되면 송신 신호의 전력을 높이지 않더라도 수신 신호의 수신 SNR을 증가시킬 수 있다.

[0044] 수학적 식 2는 1-bit 파괴적 SPC 기법에 사용되는 프리코딩 벡터를 나타낸다.

**수학적 식 2**

$$P_1^d = \begin{cases} e^{-j\pi}, & |\alpha^k| \leq \pi/2 \quad (State\ 1) \\ 1, & \pi/2 < |\alpha^k| \leq \pi \quad (State\ 2) \end{cases}$$

[0046] 수학적 식 2는 앞서 수학적 식 1과는 반대 특성을 가진다. 즉, 두 채널 간 위상차가 90° 이하(예각)일 때 두 채널 중 어느 한 채널의 위상을 180° 회전시켜 변경하도록 함으로써, 두 채널 간의 합성 채널의 크기를 감소시키고 이를 통해 신호(간섭 신호)의 크기를 감소시킬 수 있다.

[0047] 도 2 (b)의 경우 두 채널  $H_1^k$  과  $H_2^k$  간 위상 차( $\alpha$ )가 예각인 경우로, 수학적 식 2에 의하면  $P=e^{-j\pi}$ 가 선택되므로,  $H_2^k$  를 180° 회전시키면 된다. 여기서, 위상 변경 후의 합성 채널( $\widehat{H}_T^k$ )의 크기는 위상 변경 전의 합성 채널( $H_T^k$ ) 보다 더욱 감소한 것을 알 수 있다. 이를 이용하면 신호(간섭 신호)를 감소시킬 수 있다.

[0048] 도 3은 본 발명의 실시예를 위한 2-bit 건설적/파괴적 SPC 기법을 설명하는 도면이다. 도 3의 (a)는 2-bit 건설

적 SPC 기법을 나타내고, (b)는 2-bit 파괴적 SPC 기법을 나타낸다.

[0049] 2-bit 건설적/파괴적 SPC 기법은 두 신호의 상대 위상을 더욱 세분화하여 상태를 나눠 위상을 수정하므로 합성 채널 계수의 크기를 더욱 효과적으로 증가/감소시킬 수 있다. 1-bit SPC가 채널 계수를 상태에 따라 180° 기준으로 회전시킨다면 2-bit SPC는 채널 계수를 90° 기준으로 회전시킨다.

[0050] 수학적 식 3은 2-bit 건설적 SPC 기법에 사용되는 프리코딩 벡터를 나타낸다.

**수학적 식 3**

$$P_2^c = \begin{cases} 1, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State 1) \\ e^{-j\pi}, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State 2) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State 3) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State 4) \end{cases}$$

[0052] 이때, 2 bit의 신호를 이용하므로 state 1, 2, 3, 4는 각각 '00', '01', '10', '11'의 신호로 구분될 수 있다.

[0053] 수학적 식 3에서 프리코딩 벡터 P가 '1'인 것은 현재 위상을 유지하고,  $e^{-j\pi/2}$ 인 것은 위상을 90° 회전시키고,  $e^{-j\pi}$ 인 것은 위상을 180° 회전시키고,  $e^{j\pi/2}$ 인 것은 위상을 반대 방향으로 90° 회전시키는 것을 의미한다.

[0054] 수학적 식 4는 2-bit 파괴적 SPC 기법에 사용되는 프리코딩 벡터를 나타낸다.

**수학적 식 4**

$$P_2^d = \begin{cases} e^{-j\pi}, & |\alpha^k| \leq \pi/4 & (State 1) \\ 1, & 3\pi/4 < \alpha^k \leq 5\pi/4 & (State 2) \\ e^{j\frac{\pi}{2}}, & \pi/4 < \alpha^k \leq 3\pi/4 & (State 3) \\ e^{-j\frac{\pi}{2}}, & 5\pi/4 < \alpha^k \leq 7\pi/4 & (State 4) \end{cases}$$

[0056] 이와 같이 2-bit 건설적/파괴적 SPC 기법은 1-bit 건설적/파괴적 SPC 기법과 유사하지만, 두 채널 간 위상 차이를 더욱 세분화하여 합성 채널 계수의 크기를 더욱 효과적으로 증가/감소시킬 수 있다.

[0057] 즉, 이를 이용하면, 원하는 신호의 합성 채널 계수를 높여 신뢰도를 상승시키고 원하지 않는 간섭 신호의 합성 채널 계수를 낮춰 간섭 신호의 영향을 줄임으로써, 이동 단말의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0058] 도 4는 Full-bit SPC(MRT)을 사용할 경우 하나로 합쳐진 합성 채널 계수를 간략히 도시한 도면이다.

[0059] 도 4에서 원하는 신호의 채널 계수는 검정선, 협력 신호의 채널 계수는 빨강선, 하나로 합쳐진 합성 채널 계수가 파랑선일 때, 빨강색 점선은 협력 신호가 위상 회전한 신호로 MRT의 경우 모든 bit수를 이용하여 위상을 조정한다. 이때, bit수가 늘어남에 따라 상태는 더욱 세분화 하여 나눌 수 있고 위상차는 점점 줄어들게 된다. 그 결과 협력 신호의 위상 회전한 신호의 채널 계수가 원하는 신호와 동일한 방향을 바라보게 된다. 즉, 두 신호의 위상차는 0이 된다.

[0060] 따라서, MRT를 이용하면 원하는 신호와 협력 신호의 합성 채널계수는 최대가 되고, 이때 이동 단말의 SNR을 최대화 할 수 있다. 하지만 이러한 무한한 bit의 수를 구현하는 것은 매우 복잡하므로 현실적으로 불가능하다. 이에 따라, 본 발명의 실시예는 복잡도가 낮으면서 성능은 MRT와 비슷한 2-bit SPC 기법을 사용한다.

[0061] 셀 외각에 이동 단말이 위치할 때 이동 단말이 수신하는 신호에는 원하는 신호와 간섭 신호가 섞여 들어오게 된다. 이때, 일반적인 MISO(Multiple-Input and Single-Output) 시스템의 경우 원하는 신호를 검출하기 위해 보상하는 과정에서 간섭 및 잡음의 영향으로 신뢰성이 급격히 감소하게 된다.

[0062] 본 발명의 실시예는 MIMO 시스템 기반으로 수신기에서 MIMO 신호 검출 과정을 수행하므로 원하는 신호를 보다 효과적으로 검출해 낼 수 있다. 일반적인 MIMO-OFDM 시스템 수신 신호는 아래의 수학적 식 5와 같다.

수학적 식 5

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_{N_r} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1N_t} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2N_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N_r1} & H_{N_r2} & \cdots & H_{N_rN_t} \end{bmatrix}}_{\mathbb{H}} \underbrace{\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{N_t} \end{bmatrix}}_{\mathbb{X}} + \underbrace{\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_{N_r} \end{bmatrix}}_{\mathbb{N}}$$

[0063]

[0064] 수학적 식 5는 도 1에서 송신 안테나의 수가  $N_t$ 개, 수신 안테나수가  $N_r$ 개 존재할 때, 이동 단말이 수신한 신호  $\mathbb{Y}$ 를 표현한 것이다.

[0065]  $\mathbb{Y}$ 는  $(N_r, 1)$ 차원 수신 신호 벡터를 나타내고  $\mathbb{X}$ 는  $(N_t, 1)$ 차원 송신 신호 벡터를 나타낸다.  $\mathbb{N}$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 확률 분포를 따르는  $(N_r, 1)$ 차원 잡음 즉, AWGN(additive white Gaussian noise)을 나타낸다.  $\mathbb{H}$ 는  $(N_r, N_t)$ 차원을 가지는 채널 행렬을 나타낸다. 원소  $H_{ij}(i=1, 2, \dots, N_r, j=1, 2, \dots, N_t)$ 는  $j$ 번째 송신 안테나에서  $i$ 번째 수신 안테나로의 채널 계수를 나타낸다.

[0066] 본 발명의 실시예의 경우, 이동 단말의 신뢰성을 향상시키기 위해 MMSE 검출 기법을 사용한다.

[0067] MMSE 기법과의 비교를 위해 기존의 Zero Forcing (ZF) 기법을 설명하면, 아래 수학적 식 6, 7과 같이, 이동 단말이 원하는 신호는 필터 매트릭스  $G_{ZF}$ 와 수신 신호 벡터  $\mathbb{Y}$ 의 곱으로 추정된 송신 신호 벡터  $\hat{\mathbb{X}}_{ZF}$ 를 통해 얻을 수 있다.

수학적 식 6

$$G_{ZF} = \mathbb{H}^+ = (\mathbb{H}^H \mathbb{H})^{-1} \mathbb{H}^H$$

[0068]

수학적 식 7

$$\hat{\mathbb{X}}_{ZF} = G_{ZF} \mathbb{Y}$$

[0069]

[0070] 수학적 식 6에서  $+$ 는 복합공역전치를 나타내고,  $\mathbb{H}^H$ 는 허미션 연산자를 나타낸다. 필터 매트릭스  $G_{ZF}$ 는 채널 행렬  $\mathbb{H}$ 의 Moore-Penrose 의사 역행렬을 나타내고 수식은 위와 같다.

[0071] ZF 기법은 채널의 의사 역행렬을 곱하는 과정에서 잡음이 증폭하게 되고 이에 따라 단말의 성능은 열화된다. 이를 방지하기 위해 본 발명의 실시예의 경우, ZF 기법을 사용하지 않고, MIMO 검출 기법인 MMSE 기법을 적용한다.

[0072] MMSE 기법은 채널 행렬의 Moore-Penrose 의사 역행렬을 수신된 신호에 곱해 송신된 신호를 추정하는 방식으로 잡음의 증폭을 방지하고 원하는 신호의 검출 성능을 높여 이동 단말의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 이때, 필터 매트릭스와 추정된 송신 신호 벡터는 다음의 수학적 식 8, 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$G_{MMSE} = (\mathbb{H}^H \mathbb{H} + \sigma^2 I)^{-1} \mathbb{H}^H$$

수학식 9

$$\hat{\mathbb{X}}_{MMSE} = G_{MMSE} \mathbb{Y}$$

수학식 8에서  $\sigma^2$ 은 잡음 AWGN의 분산을 나타내고,  $I$ 는 단위행렬을 나타낸다. 수학식 9에서 신호의 검출과정은 수학식 7의 ZF 기법의 검출 과정과 유사하지만 잡음의 분산을 더해줌으로써 잡음의 증폭을 방지하여 ZF기법보다 더 낮은 비트 오류율을 가져 단말의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

도 5는 일반적인 스몰셀 간 협력 통신 시스템을 나타낸 도면이다.

도 5에 도시된 시스템은 스몰 셀인 펌토셀 1, 2 내에 존재하는 제1 및 제2 스몰셀 기지국(SBS1,SBS2), 그리고 셀 외각에 위치한 이동 단말(M)을 포함한다. 각각의 기지국(SBS1,SBS2)은 모두 2개의 송신 안테나를 통해 신호를 전송하고 이동 단말(M)은 2개의 수신 안테나를 통해 신호를 수신한다.

기지국의 송신 안테나와 이동 단말의 수신 안테나 사이에는 4개의 채널이 존재하며, 기지국이 2개이므로 시스템 내에는 총 8가지 채널이 존재한다.

그 중에서  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{21}$  및  $H_{22}$ 는 제1 스몰셀 기지국(SBS1)과 이동 단말(M) 사이의 채널 계수를 나타낸다. 여기서, 이동 단말(M)은 제1 스몰셀 기지국(SBS1)의 신호를 전송받기를 원하는 것을 가정한다. 또한,  $H_{13}$ ,  $H_{14}$ ,  $H_{23}$  및  $H_{24}$ 는 제2 스몰셀 기지국(SBS2)과 이동 단말(M) 사이의 채널 계수를 나타내며, 이는 이동 단말(M)의 입장에서 보면, 주변의 인접 기지국(SBS2)에 의한 간섭 신호의 채널 계수에 해당한다.

이때, 이동 단말(M)의 수신 신호는 다음의 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$Y_1 = (H_{11} + H_{12})X_1 + (H_{13} + H_{14})X_2 + N_1$$

$$Y_2 = (H_{21} + H_{22})X_1 + (H_{23} + H_{24})X_2 + N_2$$

여기서,  $Y_1$ ,  $Y_2$ 는 이동 단말의 첫 번째 수신 안테나와 두 번째 수신 안테나의 수신 신호 벡터를 나타내며,  $N_1$ ,  $N_2$ 는 그때의 잡음을 나타낸다.

수학식 10에서와 같이 이동 단말(M)에는 원하는 신호 이외에도 인접 셀에 의한 간섭 신호가 함께 수신되는 것을 알 수 있다.

이러한 도 5의 방식은 CoMP 기법과 MIMO 검출 기법이 적용되지 않아 MISO-OFDM 시스템 처럼 동작하게 되며, 수신 신호에 원하는 신호 이외에 간섭 신호가 그대로 들어오게 되어 단말의 성능이 심각하게 열화된다.

하지만 도 5와 달리, 이하의 본 발명의 실시예는 이기종 네트워크(HetNet)에서 셀간 간섭으로 인한 이동 단말의 성능 열화를 완화하도록, 셀간 협력에 의한 CoMP 기법, 원하는 신호의 채널 계수를 증가시키고 간섭 신호의 채널 계수를 감소시키는 프리코딩 기법, 그리고 신호 검출 성능이 우수한 MMSE 기법을 이용하여, 이동 단말의 성능을 향상시킨다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 이기종 네트워크에서 MIMO-OFDM 기반의 협력 통신 시스템을 나타낸 도면이다.

HetNet 시스템은 매크로 셀(macro cell)과 매크로 셀 내에 포함된 복수의 스몰셀(femto cell)을 포함하고 각 셀 내에는 기지국이 위치한다. 스몰셀은 피코셀, 펌토셀 등 다양하게 존재하지만 이하의 실시예에서는 펌토셀을 예

시하여 설명한다.

- [0088] 도 6에 나타난 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 셀간 협력 통신 시스템은 매크로 기지국(LBS; Large Base Station), 제1 및 제2 스몰 기지국(SBS; Small Base Station), 그리고 이동 단말(M)을 포함한다. 매크로 기지국(LBS)은 매크로 셀 내 기지국이고 스몰 기지국(SBS)은 스몰셀(펩토셀) 내 기지국을 의미한다.
- [0089] 도 6은 매크로 셀 내에 두 개의 스몰셀(펩토셀 1,2)을 포함한 3개의 기지국이 존재하는 경우를 예시한다. 매크로 기지국(LBS)과 이동 단말(M)은 각각 2개의 송수신 안테나를 가지는 것을 가정한다. 또한, 도 5와 비교하여 볼때, 도 6은 매크로 기지국(LBS)과 이동 단말(M) 사이의 채널이 부가된 것을 알 수 있다.
- [0090] 각각의 기지국(LBS, SBS)은 CoMP 기법에 따라 상호 협력 통신하여 신호를 전송할 수 있다. 스몰 기지국(SBS)은 자신의 스몰셀 내의 이동 단말(M)이 추정된 채널 상태 정보를 수신할 수 있고 채널 상태 정보 및 각종 필요 정보, 송신 신호 등을 주변의 다른 스몰 기지국(SBS) 및 매크로 기지국(LBS)과 상호 공유할 수 있다. 각 기지국(LBS, SBS)은 상호 간에 공유한 정보를 기초로 신호 전송 시에 서로 협력하여 이동 단말(M)이 원하는 신호의 크기를 향상시키거나, 간섭으로 작용하는 신호의 크기를 감소시켜 간섭을 완화시킬 수 있다.
- [0091] 본 발명의 실시예는 매크로 셀 내의 매크로 기지국(LBS)과 스몰셀 내의 스몰 기지국(SBS 1, SBS 2)들이 상호 협력하는 CoMP 기법과, 각 기지국(LBS, SBS)과 이동 단말(M) 간의 채널 위상차를 기초로 각 기지국에서 송신 신호에 프리코딩 벡터를 곱하여 전송하는 SPC 기법을 사용함으로써, 이동 단말이 셀 경계(가장자리)에 위치한 경우에도 인접 셀에 의한 간섭 영향을 줄이고 시스템의 신뢰성을 향상시킨다.
- [0092] 건설적 SPC 기법은 신호의 크기를 더욱 향상시키는 방식이고, 파괴적 SPC 기법은 신호의 크기를 감소시키는 방식으로, 각 기지국은 이동 단말(M)이 원하는 신호에 대해 건설적 SPC 기법을 적용하고 원하지 않는 신호에 대해 파괴적 SPC 기법을 적용하여 협력 통신함으로써, 인접 셀의 간섭 영향을 완화한다.
- [0093] 이처럼, 본 발명의 실시예는 매크로 셀 내의 기지국(LBS) 및 펩토셀 내의 기지국(SBS 1, SBS 2)들이 서로 협력하는 CoMP 기법, 프리코딩 기법을 이용한 간섭 완화 기법을 제공한다. 또한 기지국으로부터 신호를 수신하는 이동 단말(M)은 수신 신호로부터 원하는 신호를 검출 시에 MMSE 기법을 사용하여 검출 성능을 높인다.
- [0094] 본 발명의 실시예는 네 가지 방법을 포함한다. 첫 번째 방법은 CoMP 기법만 적용한 것이고, 두 번째 방법은 CoMP 기법과 프리코딩 기법을 적용한 것이다. 세 번째 방법은 첫 번째 방법의 개량으로 CoMP 기법과 MMSE 기법을 적용한 것이고, 네 번째 방법은 두 번째 방법의 개량으로 CoMP 기법과 프리코딩 기법 및 MMSE 기법을 적용한 것이다. 후술하겠지만 네 번째 방법으로 갈수록 시스템의 성능이 높아진다.
- [0095] 도 6과 같이, 이동 단말(M)이 제1 및 제2 스몰셀(SBS1, SBS2) 간의 경계에 위치한 경우, 이동 단말(M)이 원하는 신호인 제1 스몰셀(펩토셀1) 내의 제1 스몰 기지국(SBS1)의 송신 신호(이하, 제1 신호)는 제1 스몰 기지국(SBS1)과 이동 단말(M) 간의 거리에 따른 경로 손실과 송신 신호 전력 감쇄의 영향을 받고, 인접한 제2 스몰셀(펩토셀2) 내의 제2 스몰 기지국(SBS2)으로부터 전송되는 간섭 신호(이하, 제2 신호)의 영향을 받아 왜곡된다.
- [0096] 이러한 본 발명의 실시예에서 스몰 기지국의 구성을 설명하면 다음과 같다.
- [0097] 도 7은 도 6에 도시된 스몰 기지국의 구성을 설명하는 도면이다. 도 7에 나타난 것과 같이, 스몰 기지국(SBS)은 수신부(710), 분석부(720), 생성부(730) 및 전송부(740)를 포함한다. 생성부(730)는 프리코딩을 이용하지 않은 첫 번째와 세 번째 방법에서는 생략 가능한 요소이다.
- [0098] 이하에서는 설명의 편의상 도 7의 스몰 기지국이 제1 스몰 기지국(SBS1)인 것을 가정한다. 그리고, 이동 단말(M)은 제1 스몰셀(펩토셀1)에 속하여 제1 스몰 기지국(SBS1)이 전송한 신호를 수신하기를 원하는 것을 가정한다. 따라서, 제2 스몰셀 내의 제2 스몰 기지국(SBS2)이 전송하는 신호는 그에 대해 간섭 신호가 된다.
- [0099] 제1 스몰 기지국(SBS1)의 수신부(710)는 이동 단말(M)로부터 매크로 기지국(LBS)과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국(SBS2)과의 채널 상태를 수신한다. 여기서 도 6에는 12가지 채널이 존재하는 것을 알 수 있다.
- [0100] 이동 단말(M)은 12가지 채널 각각에 대한 채널 상태를 추정하여 추정된 채널 상태 정보(CSI; Channel State Information)를 자신이 속한 제1 스몰셀(펩토셀1) 내의 제1 스몰 기지국(SBS1)으로 전송한다. 이에 따라, 수신부(710)는 이동 단말(M)로부터 상술한 12가지 채널에 대한 채널 상태 정보를 수신하게 된다.
- [0101] 전송부(740)는 이동 단말(M)로부터 수신된 채널 상태 정보를 주변의 다른 기지국들에게 전송하고 공유한다. 즉, 이동 단말(M)로부터 채널 상태 정보를 수신한 제1 스몰 기지국(SBS1)은 이를 다른 기지국들(LBS, SBS2)과 공유할 수 있다.

- [0102] 분석부(720)는 수신한 채널 상태 정보를 기초로 이동 단말의 위치를 파악하고 각 채널 간의 위상 관계(특히, 위상차)를 파악한다. 이때, 단말이 보낸 채널 상태 정보를 기반으로 해당 단말의 위치를 파악하거나 추정하는 기술은 기 공지된 것에 해당하므로 상세한 설명은 생략한다. 여기서 물론, 나머지 기지국들 역시, 공유받은 채널 상태 정보를 기초로 이동 단말(M)의 현재 위치를 파악할 수 있고, 12가지 각 채널 간의 위상 관계를 파악할 수 있음은 자명하다.
- [0103] 위치 파악 결과, 이동 단말(M)이 도 6에서와 같이, 두 스몰셀 간 경계에 위치하여 인접셀(펨토셀2)에 의한 간섭 영향을 받는 경우, 제1 스몰 기지국(SBS1)은 매크로 기지국(LBS)과 협력하여 제1 신호를 전송한다.
- [0104] 즉, 전송부(740)는 매크로 기지국(LBS)과 협력하여 제1 신호를 이동 단말(M)로 전송한다. 이에 따라, 이동 단말(M)은 자신의 두 안테나인 제1 및 제2 안테나를 통하여 제1 신호를 수신하는데, 이때 제1 신호 이외에도, 제2 스몰 기지국(SBS2)에서 전송하는 제2 신호 즉, 간섭 신호도 함께 수신하게 된다.
- [0105] 그런데, 이와 같이, 이동 단말(M)이 두 스몰셀 간 경계에 위치한 경우에, 첫 번째 및 세 번째 방법은 단순히 CoMP 기법을 통한 셀간 협력 전송만 수행한다. 하지만, 두 번째 및 네 번째 방법의 경우 생성부(730)를 이용하여 CoMP 기법 이외에 신호 전송 시 프리코딩 기법을 추가로 사용한다.
- [0106] 즉, 이동 단말(M)이 셀간 경계에 위치한 경우, 생성부(730)는 원하는 신호(제1 신호)의 크기는 증가시키고 인접 셀에 의한 간섭 신호(제2 신호)를 감소시키기 위한 피드백 정보를 각각 생성한다.
- [0107] 즉, 생성부(730)는 각 채널 간의 위상 관계를 기초로 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보, 그리고 제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성한다. 전송부(740)는 건설적 피드백 정보를 매크로 기지국(LBS)으로 전송하고 파괴적 피드백 정보를 제2 스몰 기지국(SBS2)으로 전송한다.
- [0108] 이에 따라, 이동 단말(M)은, 추후 제1 스몰 기지국(SBS1) 및 매크로 기지국(LBS)으로부터 제1 신호를 수신하되, 제1 스몰 기지국(SBS1)과의 각 채널과 매크로 기지국(LBS)과의 각 채널 상에 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호를 수신한다. 또한 이와 함께 제2 스몰 기지국(SBS2)으로부터 제2 신호를 수신하되, 제2 스몰 기지국(SBS2)과의 각 채널 상에 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호를 수신한다.
- [0109] 이하에서는 도 8을 통해 본 발명에서 프리코딩을 사용하지 않는 첫 번째 및 세 번째 기법에 관하여 상세히 설명한다. 우선, 본 발명의 첫 번째 방법은 도 6의 시스템에서 셀간 협력하는 CoMP 기법을 적용한 방법이다.
- [0110] 도 8은 본 발명의 실시예에서 CoMP 기법을 이용하는 셀간 협력 통신 방법을 설명하는 도면이다. 일반적으로 HetNet 시스템에서 기지국과 단말이 백홀로 연결되어 있으면 이동 단말(M)의 위치와 위상 정보를 공유 및 활용할 수 있어, 매크로 기지국(LBS)은 제1 스몰 기지국(SBS1)이 보내는 신호(제1 신호)를 제1 스몰 기지국(SBS1)과 협력하여 이동 단말(M)로 전송할 수 있다.
- [0111] 우선, 제1 스몰셀 내 제1 스몰 기지국(SBS1)은 이동 단말(M)로부터 매크로 기지국(LBS)과의 채널 상태와 제2 스몰 기지국(SBS2)과의 채널 상태를 수신한다(S810). 그리고 전송부(740)는 수신한 채널 상태 정보를 주변의 다른 기지국들에게 전송하고 공유한다(S820).
- [0112] 이후, 분석부(720)는 수신한 채널 상태 정보를 기초로 이동 단말의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악한다(S830). 위치 파악 결과, 이동 단말(M)이 도 6과 같이 셀간 경계에 위치한 경우, 제1 스몰 기지국(SBS1)은 매크로 기지국(LBS)과 협력하여 제1 신호를 전송한다(S840).
- [0113] 여기서, 이동 단말(M)은 자신의 제1 및 제2 안테나를 통해 주변의 기지국으로부터 신호를 수신하되, 제1 스몰 기지국(SBS1)의 두 안테나와 매크로 기지국(LBS)의 두 안테나로부터 제1 신호(원하는 신호)를 수신하고, 제2 스몰 기지국(SBS2)의 두 안테나로부터 제2 신호(간섭 신호)를 수신하게 된다.
- [0114] 이 경우, 이동 단말(M)이 수신한 신호는 수학식 11과 같이 표현된다.



수학식 11

$$Y_1 = \underbrace{(H_{11} + H_{12} + H_{13} + H_{14})}_{a1} X_1 + \underbrace{(H_{15} + H_{16})}_{b1} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = \underbrace{(H_{21} + H_{22} + H_{23} + H_{24})}_{c1} X_1 + \underbrace{(H_{25} + H_{26})}_{d1} X_2 + N_2$$

[0115]

[0116]

여기서,  $Y_i$ 는 이동 단말의  $i$ 번째 안테나의 수신 신호를 나타낸다.  $X_1$ 은 제1 스몰 기지국(SBS1)이 매크로 기지국(LBS)과 협력하여 전송한 제1 신호(원하는 신호),  $X_2$ 는 제2 스몰 기지국(SBS2)이 전송한 제2 신호(간섭 신호),  $N_i$ 는  $i$ 번째 안테나의 AWGN 잡음을 나타낸다.

[0117]

그리고, 도 6에 도시된 12가지 채널 정보 중에서,  $H_{i1}, H_{i2}$ 는  $i$ 번째 안테나와 제1 스몰 기지국(SBS1)의 두 안테나 간 채널이고,  $H_{i3}, H_{i4}$ 는  $i$ 번째 안테나와 매크로 기지국(LBS)의 두 안테나 간 채널이고,  $H_{i5}, H_{i6}$ 은  $i$ 번째 안테나와 제2 스몰 기지국(SBS2)의 두 안테나 간 채널을 나타낸다.

[0118]

수학식 11에서  $a1$ 과  $c1$ 은 이동 단말(M)이 원하는 신호에 대한 합성 채널 계수를 나타내고,  $b1, d1$ 은 간섭 신호에 대한 합성 채널 계수를 의미한다. 따라서  $b1$ 과  $d1$ 은 이동 단말(M)의 입장에서 잡음 신호가 들어오는 채널이므로, 원하는 신호의 수신 SNR을 감소시키는 요인이 된다.

[0119]

이와 같이, CoMP 기법을 적용하면 매크로 셀의 신호와 펌토셀의 신호가 서로 협력해서 이동 단말(M)의 성능을 높여줄 수는 있지만, 첫 번째 방법은 여전히 pre-coding 기법과 MIMO Detection 기법이 적용되지 않아 큰 성능 향상은 이루지 못한다.

[0120]

S840 단계 이후, 이동 단말(M)은 자신의 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 원하는 신호인 제1 신호( $X_1$ )를 검출해야 한다.

[0121]

이때, 이동 단말(M)은 수신 신호 벡터로부터 제1 신호를 검출하기 위한 신호 검출 기법으로 MMSE 검출 기법을 사용할 수 있다(S850). 이는 본 발명의 세 번째 기법에 해당하는 것으로, 이동 단말의 신호 검출 성능 및 신뢰성을 더욱 높인다.

[0122]

S850 단계에 적용되는 MMSE 검출 기법을 설명하면 다음과 같다. 우선, 이동 단말(M)이 자신의 제1 및 제2 안테나를 통하여 수신한 신호에 대한 수신 신호 벡터는 아래와 같다.

수학식 12

$$\underbrace{\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{Y}_1} = \underbrace{\begin{bmatrix} a1 & b1 \\ c1 & d1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_1} \underbrace{\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{X}_1} + \underbrace{\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{N}_1}$$

[0123]

[0124]

수학식 12는 수학식 11에 나타난 이동 단말(M)의 제1 및 제2 안테나의 수신 신호인  $Y_1$ 과  $Y_2$ 를 하나의 행렬로 나타낸 것이다.

[0125]

여기서, 수학식 11에서 얻은 합성 채널 계수  $a1, b1, c1$  및  $d1$ 은 하나의 채널 행렬로 표현할 수 있으며, 원하는 신호 검출은 수학식 9처럼 채널 행렬의 Moore-Penrose 의사 역행렬인 필터 매트릭스  $G_{MMSE}$ 와  $\mathbf{Y}_1$ 을 곱해서 추정할 수 있다. 이렇게 MIMO 검출 기법을 사용하게 되면 잡음의 증폭을 방지하여, 본 발명의 첫 번째 및 두 번째 방법보다 높은 성능을 가지게 된다.

[0126]

두 번째 방법은 CoMP 기법에 pre-coding 기법을 함께 적용한 것으로, 원하는 신호는 건설적으로 프리코딩되고 간섭신호는 파괴적으로 프리코딩된다. 그 결과, 원하는 신호(제1 신호)의 합성 채널계수를 크게 만들어 줌으로써 단말의 수신 SNR을 높여주고 간섭 신호(제2 신호)의 합성 채널계수를 작게 만들어 줌으로써 간섭의 수신 SNR

을 낮춰 단말의 성능을 향상시킬 수 있다.

- [0127] 도 9은 본 발명의 실시예에서 CoMP 기법과 프리코딩 기법을 이용하는 셀간 협력 통신 방법을 설명하는 도면이다. 여기서, 도 9의 S910 내지 S930 단계는 앞서 도 8의 S810 내지 S830 단계와 동일하므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0128] 우선, 제1 스몰셀 기지국(SBS1)은 이동 단말(M)로부터 매크로 기지국(LBS)과의 채널 상태와, 제2 스몰 기지국(SBS2)과의 채널 상태를 수신하여, 이동 단말(M)의 위치 및 각 채널 간의 위상 관계를 파악한다(S910~S930).
- [0129] 만일, 이동 단말(M)의 위치가 도 6과 같이 두 셀(SBS1,SBS2) 간 경계에 위치하여 인접 셀에 의한 영향을 받는 상황으로 판단되면, 제1 스몰셀 기지국(SBS1)은 원하는 신호의 크기는 증가시키고 인접 셀에 의한 간섭 신호를 감소시키기 위한 건설적 및 파괴적 피드백 정보를 각각 생성하여 주변 기지국으로 전송한다(S940).
- [0130] 즉, 제1 스몰셀 기지국(SBS1)은 각 채널 간의 위상 관계를 기초로, 제1 신호의 크기를 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보와 제2 신호의 크기를 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성하여, 건설적 피드백 정보를 매크로 기지국(LBS)으로, 파괴적 피드백 정보를 제2 스몰 기지국(SBS2)으로 전송한다.
- [0131] 그러면, 제1 스몰 기지국(SBS1)과 매크로 기지국(LBS)은 상호 협력하여 제1 신호를 전송하되, 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터를 해당 채널에 곱하여 전송하고, 제2 스몰 기지국(SBS2)은 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터를 해당 채널에 곱하여 전송한다(S950).
- [0132] 건설적 및 파괴적 피드백 정보는 수학식 3과 4에서 언급한 것처럼 2 비트 신호로 구성될 수 있다. 즉, 이러한 두 번째 방법의 경우, 도 3과 같이, 원하는 신호에 대해서는 2-bit 건설적 SPC 기법을 적용하고 간섭 신호에 대해서는 2-bit 파괴적 SPC 기법을 적용한다.
- [0133] 앞서 수학식 3은 건설적 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^c$ )이고, 수학식 4는 파괴적 피드백 정보에 대응하는 프리코딩 벡터( $P^d$ )를 나타낸다. 수학식 3과 4에서 프리코딩 벡터 P가 '1'인 것은 현재 위상을 유지하고,  $e^{-j\pi/2}$ 인 것은 위상을 90° 회전시키고,  $e^{-j\pi}$ 인 것은 위상을 180° 회전시키고,  $e^{j\pi/2}$ 인 것은 위상을 반대방향으로 90° 회전시키는 것을 의미한다.
- [0134] 이처럼 피드백 정보는 두 채널 간 위상차가 속하는 각도 구간을 기초로, 두 채널 중 어느 한 채널의 위상은 유지하면서, 나머지 채널의 위상을 유지, 90° 회전, 180° 회전시키도록 요청하는 정보를 포함한다. 여기서, "두 채널"이란 단순히 하나의 '단일 채널' vs '단일 채널'로 한정되지 않으며, 복수의 채널을 합성한 '합성 채널' vs '단일 채널'을 의미할 수 있다.
- [0135] S950 단계에 따라, 이동 단말(M)은 제1 스몰 기지국(SBS1) 및 매크로 기지국(LBS)으로부터 제1 신호를 수신하되, 제1 스몰 기지국(SBS1)과 형성한 채널( $H_{i1}$  내지  $H_{i2}$ )과 매크로 기지국(LBS)과 형성한 채널( $H_{i3}$  내지  $H_{i4}$ ) 상에 건설적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제1 신호( $X_1$ )를 수신하고, 또한 이와 함께 제2 스몰 기지국(SBS2)으로부터 제2 신호를 수신하되, 제2 스몰 기지국(SBS2)과 형성한 각 채널( $H_{i5}$ ,  $H_{i6}$ ) 상에 파괴적 피드백 정보에 대응된 프리코딩 벡터가 반영된 제2 신호( $X_2$ )를 수신한다.
- [0136] 이동 단말이 수신한 신호는 다음의 수학식 13과 같이 표현된다.

**수학식 13**

$$Y_1 = \underbrace{(P_5(P_3(P_1H_{11} + P_2H_{12}) + P_4H_{13}) + P_6H_{14})}_{a^2} X_1 + \underbrace{(P_7H_{15} + P_8H_{16})}_{b^2} X_2 + N_1$$

$$Y_2 = P_{13} \underbrace{(P_{11}(P_9H_{21} + P_{10}H_{22}) + P_{12}H_{23}) + P_{14}H_{24})}_{c^2} X_1 + \underbrace{(P_{15}H_{25} + P_{16}H_{26})}_{d^2} X_2 + N_2$$

[0137]

- [0138] 여기서,  $P_1 \sim P_6$  및  $P_9 \sim P_{14}$ 는 건설적 피드백 정보에 따라  $H_{i1}$  내지  $H_{i4}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $P_7$ ,  $P_8$ ,  $P_{15}$ ,  $P_{16}$ 은 파괴적 피드백 정보에 따라  $H_{i5}$ 와  $H_{i6}$ 에 반영되는 복수의 프리코딩 벡터,  $X_1$ 은 제1 신호,  $X_2$ 는 제2 신호,  $N_i$ 는  $i$ 번째 안테나의 노이즈를 나타낸다.

- [0139] 수학식 13을 수학식 11과 비교하여 보면, 건설적 SPC 기법에 의한  $P_1 \sim P_6$ 과  $P_9 \sim P_{14}$ 를 적용하면,  $a_1 < a_2$ ,  $c_1 < c_2$ 가 되고, 파괴적 SPC 기법에 의한  $P_7$ ,  $P_8$ ,  $P_{15}$ ,  $P_{16}$ 를 적용하면  $b_1 > b_2$ ,  $d_1 > d_2$ 가 된다. 즉, 이동 단말이 원하는 신호 성분의 SNR은 증가되고 원치 않는 간섭 신호 성분의 SNR은 감소되며, 전체 수신 신호의 SINR이 증가된다.
- [0140] 또한, 수학식 13을 통해 알 수 있듯이, 생성부(730)는  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{13}$ ,  $H_{14}$ 간 위상차를 기초로  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{13}$ ,  $H_{14}$ 에 의한 합성 채널을 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보를 생성하고,  $H_{15}$ 와  $H_{16}$  간 위상차를 기초로  $H_{15}$ 와  $H_{16}$ 에 의한 합성 채널을 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성할 수 있다.
- [0141] 구체적으로,  $H_{11}$ 와  $H_{12}$  간 위상차,  $H_{11}$ 와  $H_{12}$ 을 합성한 채널과  $H_{13}$  간의 위상차,  $H_{11}$  내지  $H_{13}$ 를 합성한 합성 채널과  $H_{14}$ 간의 위상차를 기초로  $H_{11}$  내지  $H_{14}$ 에 의한 합성 채널을 증가시키기 위한 건설적 피드백 정보를 각각 생성한다. 또한,  $H_{15}$ 와  $H_{16}$  간 위상차를 기초로  $H_{15}$ 와  $H_{16}$ 에 의한 합성 채널을 감소시키기 위한 파괴적 피드백 정보를 생성한다.
- [0142] 예를 들어,  $H_{11}$ 와  $H_{12}$  간 위상차를 기반으로 각 채널에 적용되는  $P_1$ 과  $P_2$ 를 생성하는데, 피드백 정보는 두 채널 중 어느 한 채널의 위상은 유지하면서 나머지 채널의 위상을 유지 또는 변경하는 정보를 포함하므로  $P_1$ 의 경우 현재  $H_{11}$ 의 위상을 유지하는 값을 가지고,  $P_2$ 의 경우  $H_{12}$ 의 위상을 유지 또는 변경하는 값을 가질 수 있다. 다음,  $H_{11}$ 와  $H_{12}$  간의 합성 채널의 위상을 단일 채널인  $H_{13}$ 의 위상과 비교하여 합성 채널과 단일 채널에 각각 적용되는  $P_3$ 와  $P_4$ 를 생성하는데, 마찬가지로  $P_3$ 는 현재 위상을 유지하는 값을 가질 수 있다.
- [0143] 이러한 두 번째 방식의 경우 SPC 기법을 적용하여 프리코딩 해줌으로써 이동 단말(M)의 성능은 증가하지만 여전히 MIMO 검출 기법이 적용되지 않아, 이동 단말(M)의 수신 신호에 간섭의 영향이 남아 있어 신호 검출 성능은 유저의 QoS를 만족할 만큼 높지는 않다.
- [0144] 즉, S950 단계 이후, 이동 단말(M)은 자신의 제1 및 제2 안테나에 의한 수신 신호 벡터로부터 원하는 신호인 제1 신호( $X_1$ )를 검출해야 한다. 이때, 이동 단말(M)은 수신 신호 벡터로부터 제1 신호를 검출하기 위한 신호 검출 기법으로 MMSE 검출 기법을 사용할 수 있다(S960). 이는 본 발명의 네 번째 기법에 해당하는 것으로, 이를 통해 이동 단말의 신호 검출 성능 및 신뢰성을 더욱 높인다.
- [0145] S960 단계에 적용되는 MMSE 검출 기법을 설명하면 다음과 같다.
- [0146] 이동 단말(M)이 자신의 제1 및 제2 안테나를 통하여 수신한 신호에 대한 수신 신호 벡터는 아래와 같다.

**수학식 14**

$$\underbrace{\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}}_{\mathbb{Y}_2} = \underbrace{\begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{bmatrix}}_{\mathbb{H}_2} \underbrace{\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}}_{\mathbb{X}_2} + \underbrace{\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix}}_{\mathbb{N}_2}$$

- [0147]
- [0148]  $a_2$  및  $c_2$ 는 건설적으로 프리코딩된 원하는 신호의 합성 채널 계수이고  $b_2$  및  $d_2$ 는 파괴적으로 프리코딩된 간섭의 합성 채널계수를 나타낸다. 이때,  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$  및  $d_2$ 는 하나의 채널 행렬로 나타낼 수 있고 원하는 신호는 필터 매트릭스와 수신 신호벡터의 곱을 통해 추정할 수 있다. 마지막 방법과 같이 CoMP, pre-coding 그리고 MIMO Detection 기법을 동시에 적용한다면 이동 단말(M)의 수신 SNR을 높여 처리율과 신뢰성을 극대화 할 수 있다.
- [0149] 결과적으로, 본 발명의 실시예에서 제안한 셀 간 간섭 완화 기법은 이동 단말이 셀 외각에 위치할 때 CoMP 기법과 pre-coding 기법 및 MIMO Detection 기법을 이용하여 원하는 신호의 수신 SNR을 높이고 간섭 신호의 SNR을 낮추어 셀 간 간섭을 완화함으로써 전체 수신 신호의 SINR을 증가시키고 기지국과 이동 단말간 무선 통신의 신뢰성 및 처리율을 높이는 기법을 제공한다.
- [0150] 본 발명의 실시예에 따른 기법과 기존의 기법의 BER 성능 비교를 위해 모의실험을 실시하였다. 모의실험은 OFDM 시스템 기반으로 수행하였고 256개의 부반송파를 사용하며 보호구간의 길이는 64이다. 변조 방식으로 Quadrature Phase Shift Keying(QPSK)를 사용하였고, 채널은 7개의 다중 경로를 가지는 Rayleigh 페이딩 채널

로 실시하였다. 이때, 채널 추정은 완벽하다고 가정한다.

[0151] 도 10은 본 발명의 시스템 모델에서 기존의 시스템 및 제안한 시스템의 SNR 대비 BER 그래프를 도시한 도면이다. 도 10에 도시한 바와 같이 도 5의 기존의 기법에서 도 6의 본 발명에 따른 첫 번째 및 네 번째로 제안 기법으로 갈수록 비트 오류율이 감소됨을 확인할 수 있다. 기존의 기법은 간섭이 이동 단말의 성능을 열화시켜서 BER 성능이 좋지 않다. 제안된 첫 번째 방법은 그 신호에 CoMP 기법을 적용하여 오류율을 낮췄다. 협력 신호와 원하는 신호를 건설적으로 프리코딩하고 간섭신호를 파괴적으로 프리코딩하면 두 번째 제안한 방식처럼 단말의 BER 성능이 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다. MIMO 검출 기법을 적용하고 거기에 프리코딩까지 한다면 간섭의 영향을 최소화 할 수 있다. 이와 같이 본 발명에서 제안된 기법은 기존의 기법과 비교하여 간섭을 효과적으로 완화시켜 이동 단말의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0152] 도 11은 본 발명의 기존의 기법과 제안한 기법의 처리율을 SNR 대비 BER 그래프로 도시한 도면이다. 기존의 기법에서 본 발명에 따른 첫 번째 및 네 번째 제안된 기법으로 갈수록 처리율이 향상되는 것을 확인할 수 있고 이때, 처리율은 아래와 같이 계산한다.

**수학식 15**

[0153] 
$$T = (1 - BER) \times N_t$$

[0154] 수학식 18에서 T는 처리율을 나타내고  $N_t$ 는 송신된 정보 비트의 수를 나타낸다. BER은 도 10에서 모의실험을 통해 구한 값을 사용한다. 기존의 기법은 간섭이 심해 처리율은 좋지 않다. 첫 번째 및 두 번째 제안한 기법도 검출 기법을 사용하지 않아 신호를 보상하는 과정에서 간섭으로 인한 잡음이 증폭되어 처리율이 그리 좋지 않다. 세 번째 및 네 번째 제안한 기법으로 갈수록 검출 기법을 사용하여 간섭의 증폭을 방지해서 처리율이 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 제안한 기법은 처리율이 거의 1에 수렴하므로 이동 단말이 셀 외각에 위치할 때 유저의 QoS를 충분히 충족시킬 수 있다.

[0155] 도 12는 pre-coding 기법의 비트 수에 따른 SNR 대비 BER 성능을 나타낸 도면이다.

[0156] 프리코딩 기법의 성능 비교를 위해 송신 안테나수가 2개이고 수신안테나수가 1개이며 프리코딩 기법이 적용되지 않은 MISO-OFDM 신호를 같이 모의실험 하였다. 프리코딩한 신호는 모두 1-bit, 2-bit 및 Full-bit 건설적인 SPC를 사용하였다. 그래프에서 알 수 있듯이, 프리코딩하지 않은 신호에 비해 프리코딩한 신호는 월등히 낮은 비트 오류율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이때, 1-bit, 2-bit 및 Full-bit SPC (MRT)로 갈수록 비트 오류율이 낮아지고 MRT를 사용했을 때 성능이 가장 좋게 나타난다. 하지만, 1-bit 및 2-bit SPC도 MRT와 비슷한 성능을 가진다. 즉, 1-bit 및 2-bit의 피드백 정보만으로도 MRT와 비슷한 성능을 구현할 수 있다. 따라서, 본 발명에서 제안한 기법의 프리코딩 벡터는 MRT와 비슷한 성능을 가지면서 구현 복잡성은 매우 낮은 2-bit 프리코딩 벡터를 사용한다.

[0157] 도 13은 ZF 기법과 MMSE 기법의 SNR 대비 BER 성능을 세 번째 및 네 번째 제안한 방법을 기반으로 모의실험한 결과를 나타낸 도면이다. 이때, MMSE 기법은 ZF 기법에 비해 잡음의 증폭을 방지하여 더 낮은 비트 오류율을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0158] 도 14는 본 발명의 두 번째 제안 기법에서 이동 단말과 간섭신호의 기지국간 거리 증가에 따른 경로 감쇠로 인한 SNR 대비 BER 성능 그래프를 나타낸 도면이다. 이동 단말과 인접 기지국의 거리가 멀어짐에 따라 경로 손실이 커져 단말에 미치는 간섭의 영향이 줄어 비트 오류율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 모의실험 결과 그래프는 이동 단말과 인접 기지국의 거리를 d라고 할 때, 거리가 2d, 4d, 8d 및 16d 만큼 멀어질 때의 BER 성능을 나타낸다. 이때, 경로 손실은 이상적인 자유공간에서 거리의 증가로 인한 신호의 감쇠만을 고려하며 거리 d에 따른 수신신호 전력  $P_R(d)$ 은 아래와 같이 계산할 수 있다.

수학식 16

$$P_R(d) = P_T k \left( \frac{\lambda_c}{4\pi d} \right)^2$$

[0159]

[0160]

수학식 16에서 d는 인접한 기지국과 이동 단말의 거리를 나타내고  $\lambda_c$ 는 간섭 신호의 파장을 나타낸다.  $P_T$ 는 송신전력을 나타내고 k는 비례상수를 의미한다.  $(\cdot)^2$ 은 경로 손실 지수로 자유공간에서 지수는 2로 고정된다. 이때, 거리가 매우 멀어져서 간섭 신호의 영향이 거의 없어진다면 결과적으로 건설적으로 프리코딩된 신호만 남게 되고 BER 성능은 향상된다.

[0161]

결과적으로 본 발명에서 제안한 간섭 완화 기법은 기존의 기법과 비교했을 때 CoMP 기법과 pre-coding 기법 및 MIMO Detection 기법을 단계적으로 적용해서 이동 단말의 셀 간 간섭을 효과적으로 완화하여 유저의 QoS를 충족시키고 이동 단말의 신뢰성을 높일 수 있다.

[0162]

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

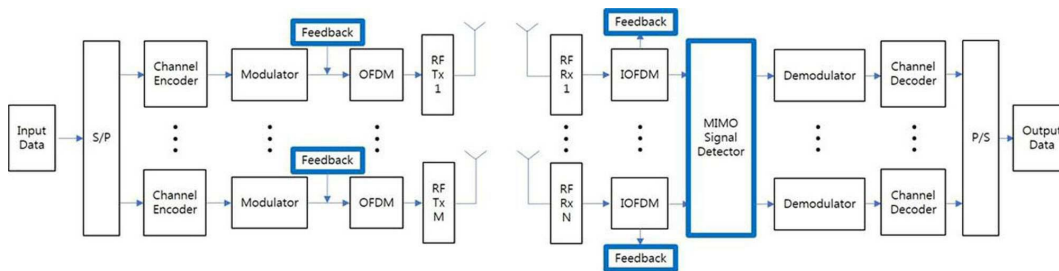
부호의 설명

[0163]

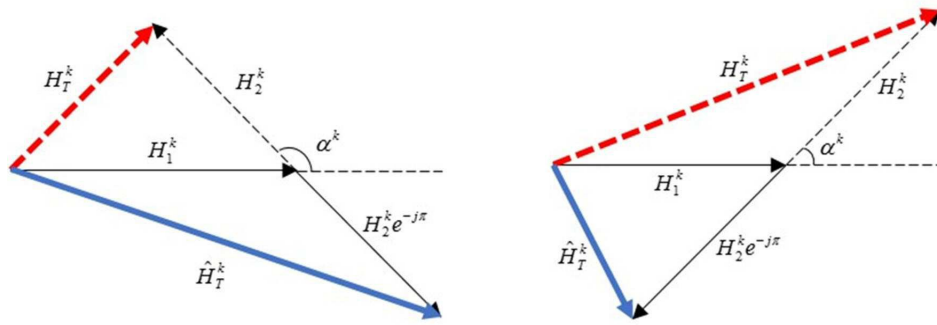
- LBS: 매크로 기지국
- SBS1: 제1 스몰 기지국
- SBS2: 제2 스몰 기지국
- M: 이동 단말
- 710: 수신부
- 720: 분석부
- 730: 생성부
- 740: 전송부

도면

도면1



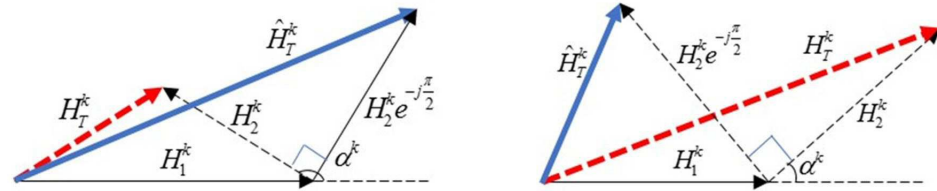
도면2



(a) 1-bit 건설적 SPC

(b) 1-bit 파괴적 SPC

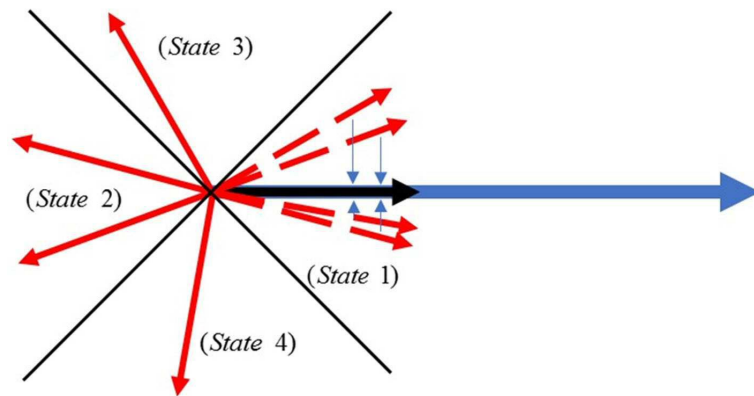
도면3



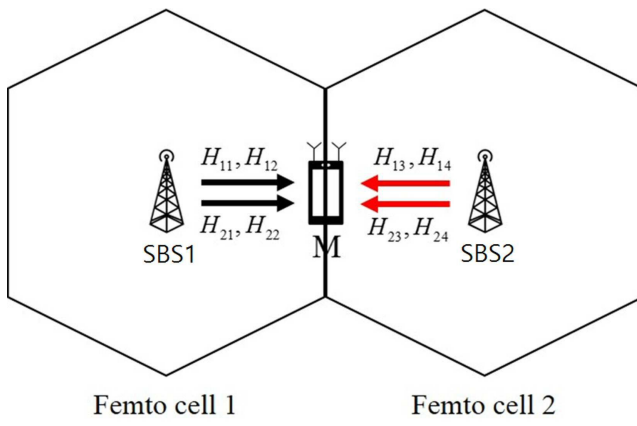
(a) 2-bit 건설적 SPC

(b) 2-bit 파괴적 SPC

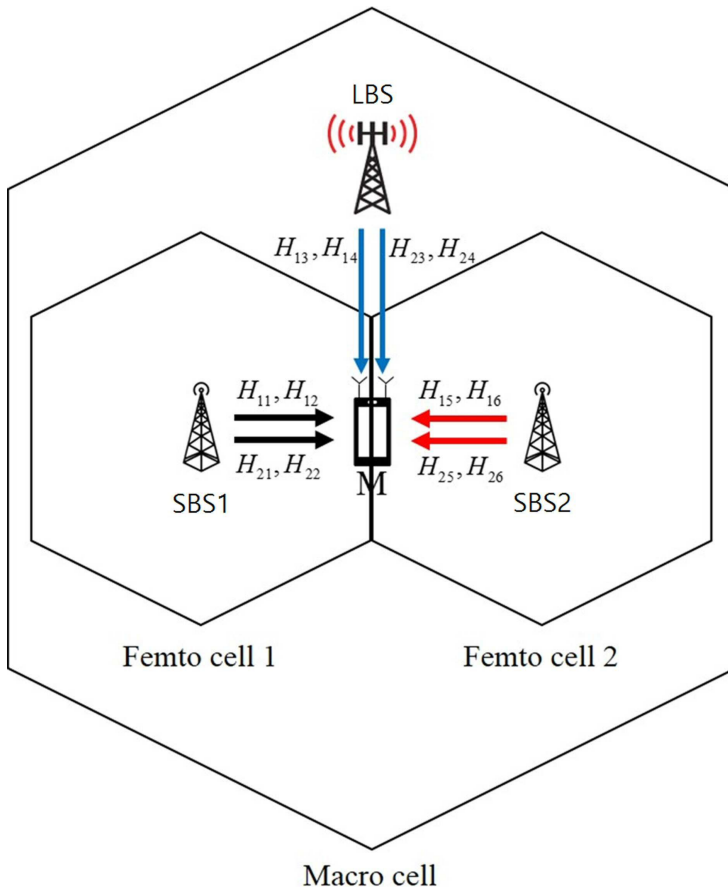
도면4



도면5



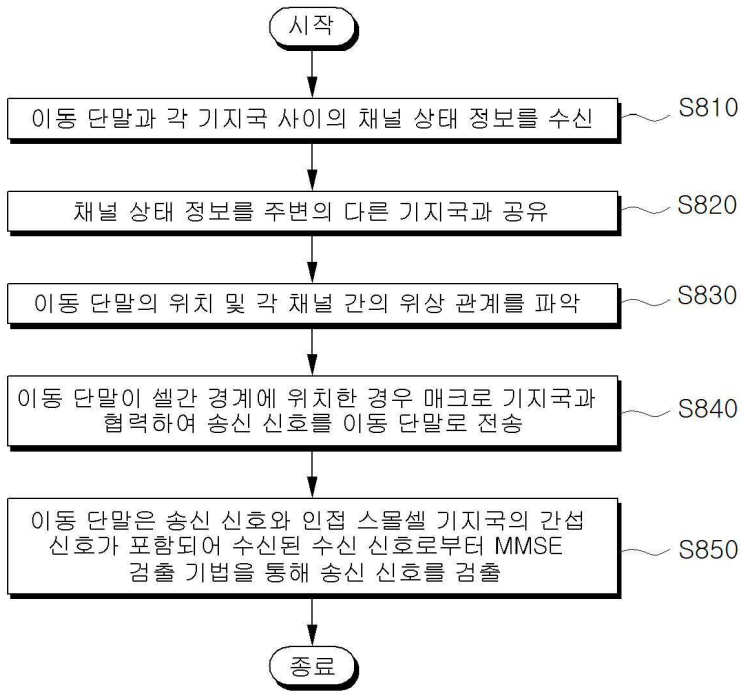
도면6



도면7

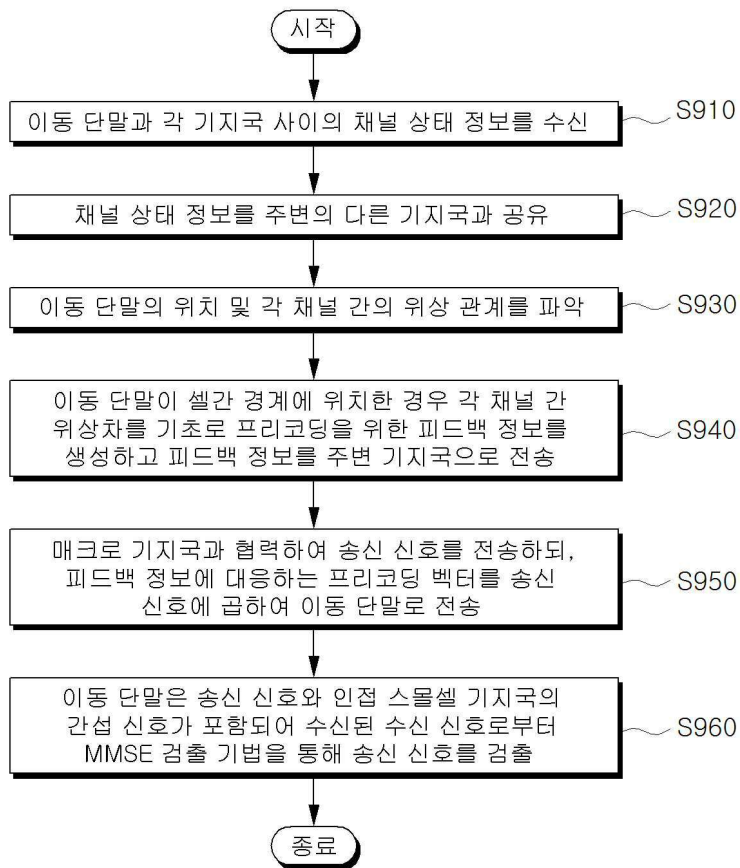


도면8

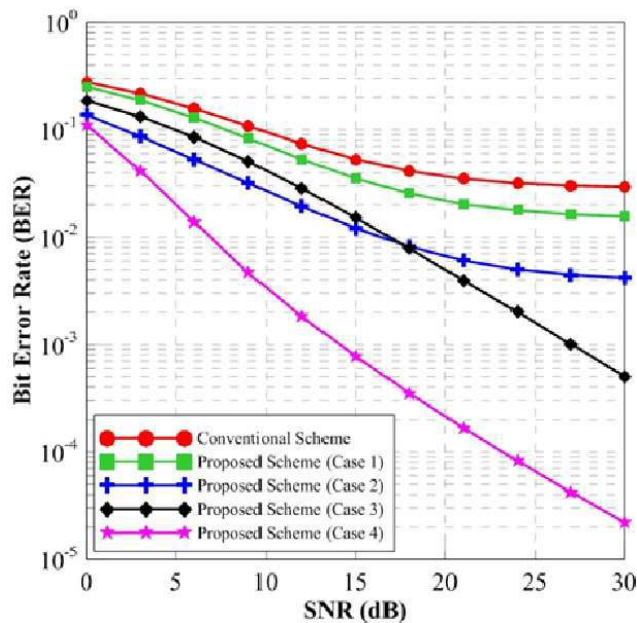




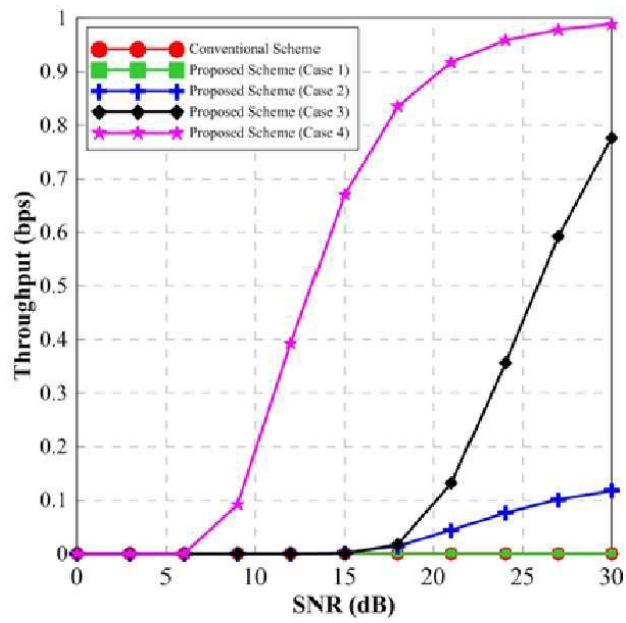
도면9



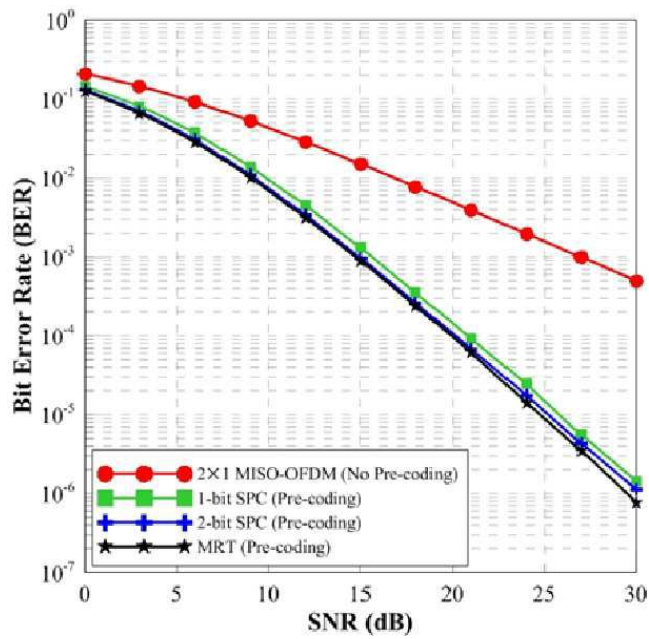
도면10



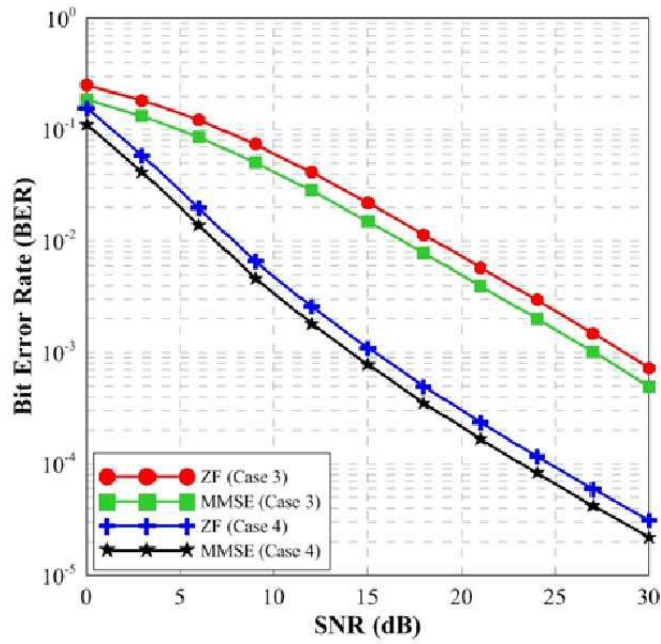
도면11



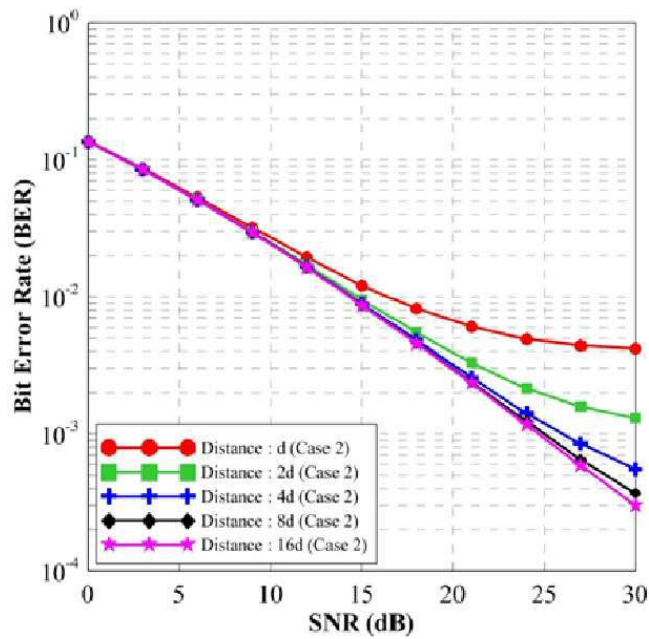
도면12



도면13



도면14



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제11항

【변경전】

청구항 9에 있어서

【변경후】

청구항 10에 있어서

【직권보정 2】

- 【보정항목】 청구범위
- 【보정세부항목】 제3항
- 【변경전】  
    청구항 1에 있어서
- 【변경후】  
    청구항 2에 있어서