



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년04월29일
(11) 등록번호 10-2392917
(24) 등록일자 2022년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 52/24 (2009.01) H04W 52/14 (2009.01)
H04W 52/42 (2009.01) H04W 52/54 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 52/241 (2013.01)
H04W 52/143 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0112107
(22) 출원일자 2020년09월03일
심사청구일자 2020년09월03일
(65) 공개번호 10-2022-0030568
(43) 공개일자 2022년03월11일
(56) 선행기술조사문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이병무
서울특별시 송파구 송파대로 567, 502동 602호 (잠실동, 아파트)
(74) 대리인
민영준

KR1020120080327 A*
Byung Moo Lee and Hong Yang, 'Massive MIMO with Massive Connectivity for Industrial Internet of Things', IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS(2019.07.01.) 1부.*
Byung Moo Lee, 'Massive MIMO with Downlink Energy Efficiency Operation in Industrial Internet of Things', IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS(2020.08.25.) 1부.*
KR1020190056965 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 16 항

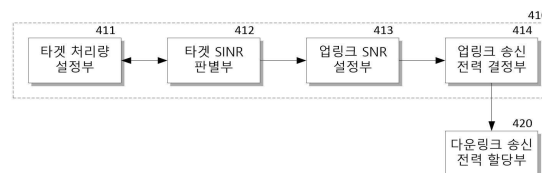
심사관 : 진상범

(54) 발명의 명칭 무선통신 시스템의 전송전력 제어 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량 또는 최대 요구 처리량 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하고, 설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 SINR을 계산하고, 계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 SNR를 획득하며, 획득된 업링크 SNR이 달성 가능한 업링크 SNR이면, 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 업링크 전송전력 할당부 및 업링크 전송전력에 기초하여 기지국부터 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 다운링크 전송전력 할당부를 포함하여 에너지 효율적인 업링크 및 다운링크 전송전력을 결정할 수 있으며, 과도한 전력 사용으로 인한 전력 공급 중단이 발생하지 않고 비용 효율적인 통신을 수행할 수 있도록 하는 무선통신 시스템의 전송전력 제어 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

- H04W 52/146* (2013.01)
- H04W 52/42* (2013.01)
- H04W 52/54* (2013.01)
- Y02D 30/70* (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117872
과제번호	2020R1F1A1048470
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	지능형 사이버 물리 시스템의 산업 인터넷 응용을 위한 초연결성 연구
기여율	1/2
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711110816
과제번호	2019R1A4A1023746
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	Tactile Internet을 위한 초저지연 고신뢰 햅틱 데이터 통신 기술 및 촉각 센서/액
튜에이터 기술 연구	
기여율	1/2
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하고, 설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)를 계산하고, 계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하며, 계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 업링크 전송전력 할당부; 및

상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 다운링크 전송전력 할당부를 포함하되,

상기 업링크 전송전력 할당부는

상기 타겟 처리량을 설정하는 타겟 처리량 설정부;

상기 타겟 처리량과 함께 미리 설정된 다운링크 자원비와 대역폭, 코히어런스 구간 및 기준 신호 전송 구간을 이용하여 상기 타겟 SINR을 계산하여 획득하는 타겟 SINR 판별부;

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 M개의 안테나로 도달 가능한 SINR로 판별되면, 기지정된 방식으로 업링크 SNR을 계산하고, 상기 타겟 SINR이 도달 불가능하거나 계산된 업링크 SNR이 상기 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 상기 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 업링크 SNR 설정부; 및

설정된 업링크 SNR에 대응하는 상기 업링크 전송전력을 기지정된 방식으로 계산하는 업링크 전송전력 판별부를 포함하며,

상기 업링크 SNR 설정부는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학적식

$$\Lambda = \left(\frac{M}{\text{SINR}_t} - JL^2 - M(L - 1) \right) > 0$$

을 만족하는지 판별하고, 만족하면 수학적식

$$\rho_u = \frac{(J + \tau_p)L + \sqrt{(J + \tau_p)^2 L^2 + 4\tau_p \Lambda}}{2\tau_p \beta \Lambda}$$

(여기서 β 는 기지국과 K개의 단말 사이에 동일하게 설정되는 대규모 페이딩 상수이고, L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, τ_p 는 기준 신호 전송 구간이고, ρ_u 는 계산되는 업링크 SNR)

에 따라 업링크 SNR을 계산하며,

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학적식을 만족하지 않거나, 계산된 업링크 SNR이 상기 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 기준 SINR을 이용하여 계산되는 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 전송전력 제어 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 타겟 처리량 설정부는

상기 ARTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 상기 K개의 IIoT 단말의 누적 분포 함수(cumulative distribution function: CDF)를 기반으로 기지정된 비율로 상기 타겟 처리량을 설정하고,

상기 MRTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력이 고려되지 않은 다운링크 SINR을 나타내는 상기 기준 SINR을 계산하고, 계산된 상기 기준 SINR에 대응하는 처리량을 계산하여 상기 타겟 처리량으로 설정하는 전송전력 제어 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 기준 SINR은

상기 기지국이 최대 비율(maximum-ratio: 이하 MR) 프로세스에 따라 프리코딩을 수행하는 경우,

수학식

$$SINR_0 = \frac{M}{J(K/J)^2 + M((K/J) - 1)}$$

(여기서 L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, SINR₀는 기준 SINR)

에 따라 계산되는 전송전력 제어 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 타겟 처리량은

상기 기준 SINR로부터 수학식

$$T_{put_t} = 0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + SINR_0)$$

(여기서 0.5는 기지정된 다운링크 자원비(ζ^d), B는 대역폭, τ_c 는 코히어런스 구간 및 τ_p 는 기준 신호 전송 구간, T_{put_t}은 타겟 처리량)

에 따라 계산되는 전송전력 제어 장치.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 타겟 SINR 판별부는

상기 타겟 처리량과 다운링크 자원비와 대역폭, 코히어런스 구간 및 기준 신호 전송 구간을 이용하여 상기 타겟 SINR을 수학식

$$SINR_t \Leftarrow 2^{\frac{\alpha_t T_{put_t}}{0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right)}} - 1$$

(여기서 α^t 는 기지국의 전력 부족이 발생하는 것을 방지하기 위해 미리 설정되는 스케일링 벡터, τ_c 는 코히어런스 구간, τ_p 는 기준 신호 전송 구간, B는 대역폭)

에 따라 계산하여 획득하는 전송전력 제어 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 업링크 전송전력 판별부는
수학식

$$p_u = G_{bs} + G_{ue} - N_0B - \omega_{bs} - \rho_u \text{ (dB)}$$

(여기서 G_{bs} 는 기지국의 안테나 이득, G_{ue} 는 단말의 안테나 이득, N_0B 는 주어진 대역폭(B)에서의 잡음 전력, ω_{bs} 는 기지국(BS)의 잡음 지수(noise figure)이며, p_u 는 업링크 전송전력이다)에 따라 상기 업링크 전송전력을 계산하는 전송전력 제어 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 다운링크 전송전력 할당부는
수학식

$$p_d = p_u + K \text{ (dB)}$$

에 따라 상기 다운링크 전송전력(p_d)을 계산하는 전송전력 제어 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 전송전력 제어 장치는

상기 기지국에 포함되고, 상기 기지국은 상기 업링크 전송전력을 전송전력 제어(Transmission Power Control: 이하 TPC) 명령으로 상기 K개의 단말로 전송하는 전송전력 제어 장치.

청구항 11

K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하는 단계;

설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)을 계산하는 단계;

계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하는 단계;

계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 단계; 및

상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 상기 단계를 포함하되,

상기 업링크 전송전력을 결정하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 M개의 안테나로 도달 가능한 SINR로 판별되면, 기지정된 방식으로 업링크 SNR을 계산하는 단계; 및

상기 타겟 SINR이 도달 불가능하거나 계산된 업링크 SNR이 기지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 기준 SINR을 이용하여 계산되는 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 단계를 포함하고,

상기 업링크 SNR을 계산하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학식

$$\Lambda = \left(\frac{M}{\text{SINR}_t} - JL^2 - M(L - 1) \right) > 0$$

을 만족하는지 판별하는 단계; 및
안테나 개수(M)에 따른 수학적식을 만족하면 수학적식

$$\rho_u = \frac{(J+\tau_p)L + \sqrt{(J+\tau_p)^2 L^2 + 4\tau_p \Lambda}}{2\tau_p \beta \Lambda}$$

(여기서 β 는 기지국과 K개의 단말 사이에 동일하게 설정되는 대규모 페이딩 상수이고, L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, τ_p 는 기준 신호 전송 구간이고, ρ_u 는 계산되는 업링크 SNR)

에 따라 업링크 SNR을 계산하는 단계를 포함하는 전송전력 제어 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 타겟 처리량을 설정하는 단계는

상기 ARTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 상기 K개의 IIoT 단말의 누적 분포 함수를 기반으로 기설정된 비율로 상기 타겟 처리량을 설정하고,

상기 MRTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력이 고려되지 않은 다운링크 SINR을 나타내는 상기 기준 SINR을 계산하고, 계산된 상기 기준 SINR에 대응하는 처리량을 계산하여 상기 타겟 처리량으로 설정하는 전송전력 제어 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 기준 SINR은

상기 기지국이 최대 비율(maximum-ratio: 이하 MR) 프로세스에 따라 프리코딩을 수행하는 경우,
수학적식

$$SINR_0 = \frac{M}{J(K/J)^2 + M((K/J) - 1)}$$

(여기서 L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, $SINR_0$ 는 기준 SINR)

에 따라 계산되는 전송전력 제어 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 타겟 처리량은

상기 기준 SINR로부터 수학적식

$$T_{put_t} = 0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + SINR_0)$$

(여기서 0.5는 기지정된 다운링크 자원비(ζ^d), B는 대역폭, τ_c 는 코히어런스 구간 및 τ_p 는 기준 신호 전송 구간, T_{put_t} 은 타겟 처리량)

에 따라 계산되는 전송전력 제어 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 타겟 SINR을 계산하는 단계는

상기 타겟 처리량과 다운링크 자원비와 대역폭, 코히어런스 구간 및 기준 신호 전송 구간을 이용하여 상기 타겟 SINR을 수학적

$$\text{SINR}_t \Leftarrow 2^{\frac{\alpha_f T_{\text{put}_t}}{0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right)}} - 1$$

(여기서 α^f 는 기지국의 전력 부족이 발생하는 것을 방지하기 위해 미리 설정되는 스케일링 팩터, τ_c 는 코히어런스 구간, τ_p 는 기준 신호 전송 구간, B는 대역폭)

에 따라 계산하여 획득하는 전송전력 제어 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

제15항에 있어서, 상기 업링크 전송전력을 결정하는 단계는 수학적

$$p_u = G_{bs} + G_{ue} - N_0B - \omega_{bs} - \rho_u \text{ (dB)}$$

(여기서 G_{bs} 는 기지국의 안테나 이득, G_{ue} 는 단말의 안테나 이득, N_0B 는 주어진 대역폭(B)에서의 잡음 전력, ω_{bs} 는 기지국(BS)의 잡음 지수(noise figure)이고, p_u 는 업링크 전송 전력)에 따라 상기 업링크 전송전력을 계산하는 전송전력 제어 방법.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 다운링크 전송전력을 결정하는 단계는 수학적

$$p_d = p_u + K \text{ (dB)}$$

(여기서, p_d 는 다운링크 전송전력)

에 따라 상기 다운링크 전송전력(p_d)을 계산하는 전송전력 제어 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 전송전력 제어 방법은

상기 기지국이 계산된 상기 업링크 전송전력을 전송전력 제어 명령으로 상기 K개의 단말로 전송하는 단계를 더 포함하는 전송전력 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 전송전력 제어 장치 및 방법에 관한 것으로, 무선통신 시스템의 전송전력 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 전송전력 제어 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

[0002] 기존에 대규모 다중 입력 다중 출력(Massive multiple-input multiple-output: Massive MIMO) 기법은 주로 이동 통신 네트워크에서 주로 사용되었다. 그러나 최근에는 대규모 MIMO를 산업용 사물 인터넷(Industrial Internet of Things: 이하 IIoT)에 적용하고자 하는 연구가 수행되고 있다.

[0003] 다만 이동 통신 네트워크의 경우, 높은 신뢰성과 속도 요구에 따라 설계되며 고비용을 감당할 수 있다. 반면, IIoT는 높은 신뢰성이 요구되지만, 적용 분야나 목적에 따라 속도가 중요하지 않을 수 있다. 또한 IIoT에서는 정전이 발생할 가능성을 줄이고 비용을 저감하는 것이 주요 이슈가 될 수 있다. 이동 통신 네트워크의 단말과 마찬가지로, IIoT에서 다수의 IIoT 단말은 주로 전력이 제한된 배터리에 기반하여 동작하므로, IIoT 단말의 업링크 전송전력을 제어하는 것이 중요하다. 그러나 IIoT에서는 다운링크 시에도 소비 가능한 전력량이 제한될 수 있을 뿐만 아니라, 다수의 IIoT 단말로의 데이터 전송에 따른 대량의 전력 소비로 인해 발생하는 비용을 저감하기 위해 다운링크 전송전력을 제어하는 것 또한 매우 중요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1642361호 (2016.07.19 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 무선통신 시스템의 전송전력 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 전송전력 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 사용 가능한 전력이 제한된 분야에서 과도한 전력 사용으로 인한 전력 공급 중단이 발생하지 않고 비용 효율적인 통신을 수행할 수 있도록 하는 무선통신 시스템의 전송전력 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 장치는 K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하고, 설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)을 계산하고, 계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하며, 계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 업링크 전송전력 할당부; 및 상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 다운링크 전송전력 할당부를 포함한다.

[0008] 상기 업링크 전송전력 할당부는 상기 타겟 처리량을 설정하는 타겟 처리량 설정부; 상기 타겟 처리량과 함께 미리 설정된 다운링크 자원비와 대역폭, 코히어런스 구간 및 기준 신호 전송 구간을 이용하여 상기 타겟 SINR을 계산하여 획득하는 타겟 SINR 판별부; 상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 M개의 안테나로 도달 가능한 SINR로 판별되면, 기지정된 방식으로 업링크 SNR을 계산하고, 상기 타겟 SINR이 도달 불가능하거나 계산된 업링크 SNR이 기지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 업링크 SNR 설정부; 및 설정된 업링크 SNR에 대응하는 상기 업링크 전송전력을 기지정된 방식으로 계산하는 업링크 전송전력 판별부를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 타겟 처리량 설정부는 상기 ARTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 상기 K개의 IIoT 단말의 누적 분포 함수(cumulative distribution function: CDF)를 기반으로 기지정된 비율로 상기 타겟 처리량을 설정하고, 상기 MRTP에 따라 상기 타겟 처리량을 설정하는 경우, 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력이 고려되지 않은 다운링크 SINR을 나타내는 기준 SINR을 계산하고, 계산된 기준 SINR에 대응하는 처리량을 계산하여 상기 타겟 처리량으로 설정할 수 있다.

[0010] 상기 기준 SINR은 상기 기지국이 최대 비율(maximum-ratio: 이하 MR) 프로세스에 따라 프리코딩을 수행하는 경

우, 수학식

$$\text{SINR}_0 = \frac{M}{J(K/J)^2 + M((K/J) - 1)}$$

(여기서 0.5는 기지정된 다운로드 자원비(ζ^d), B는 대역폭, τ_c 는 코히어런스 구간 및 τ_p 는 기준 신호 전송 구간, T_{put_t} 은 타겟 처리량)에 따라 계산될 수 있다.

상기 타겟 처리량은 상기 기준 SINR로부터 수학식

$$T_{\text{put}_t} = 0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + \text{SINR}_0)$$

(여기서 0.5는 기지정된 다운로드 자원비(ζ^d), B는 대역폭, τ_c 는 코히어런스 구간 및 τ_p 는 기준 신호 전송 구간)에 따라 계산될 수 있다.

상기 타겟 SINR 판별부는 상기 타겟 처리량과 다운로드 자원비와 대역폭, 코히어런스 구간 및 기준 신호 전송 구간을 이용하여 상기 타겟 SINR(SINR_t)을 수학식

$$\text{SINR}_t \Leftarrow 2^{\frac{\alpha_t T_{\text{put}_t}}{0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right)}} - 1$$

(여기서 α^t 는 기지국의 전력 부족이 발생하는 것을 방지하기 위해 미리 설정되는 스케일링 벡터, τ_c 는 코히어런스 구간, τ_p 는 기준 신호 전송 구간, B는 대역폭)에 따라 계산할 수 있다.

상기 업링크 SNR 설정부는 상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학식

$$\Lambda = \left(\frac{M}{\text{SINR}_t} - JL^2 - M(L - 1) \right) > 0$$

을 만족하는지 판별하고, 만족하면 수학식

$$\rho_u = \frac{(J + \tau_p)L + \sqrt{(J + \tau_p)^2 L^2 + 4\tau_p \Lambda}}{2\tau_p \beta \Lambda}$$

(여기서 β 는 기지국과 K개의 단말 사이에 동일하게 설정되는 대규모 페이딩 상수이고, L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, τ_p 는 기준 신호 전송 구간이고, ρ_u 는 계산되는 업링크 SNR)에 따라 업링크 SNR을 계산하며, 상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학식을 만족하지 않거나, 계산된 업링크 SNR이 상기 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 상기 기준 SINR을 이용하여 계산되는 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정할 수 있다.

상기 업링크 전송전력 판별부는 수학식

$$p_u = G_{\text{bs}} + G_{\text{ue}} - N_0 B - \omega_{\text{bs}} - \rho_u \text{ (dB)}$$

(여기서 G_{bs} 는 기지국의 안테나 이득, G_{ue} 는 단말의 안테나 이득, $N_0 B$ 는 주어진 대역폭(B)에서의 잡음 전력, ω_{bs} 는 기지국(BS)의 잡음 지수(noise figure)이 p_u 는 업링크 전송 전력이다)에 따라 업링크 전송전력을 계산할 수 있다.

상기 다운로드 전송전력 할당부는 수학식

$$p_d = p_u + K \text{ (dB)}$$

- [0029] 에 따라 상기 다운링크 전송전력(p_d)을 계산할 수 있다.
- [0030] 상기 전송전력 제어 장치는 상기 기지국에 포함되고, 상기 기지국은 상기 업링크 전송전력을 전송전력 제어 (Transmission Power Control: 이하 TPC) 명령으로 상기 K개의 단말로 전송할 수 있다.
- [0031] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법은 K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTIP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하는 단계; 설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)을 계산하는 단계; 계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하는 단계; 계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 단계; 및 상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 상기 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0032] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 장치 및 방법은 다수의 단말들이 평균적으로 유지해야하는 데이터 전송율 또는 주어진 조건에서 최대 데이터 전송율을 대응하는 타겟 처리량을 설정하여 타겟 처리량을 달성하기 위한 SINR을 계산함으로써 에너지 효율적인 업링크 및 다운링크 전송전력을 결정할 수 있다. 또한 과도한 전송전력 결정으로 인한 전력 낭비를 방지하기 위해 스케일링 팩터를 도입함으로써, 사용 가능한 전력이 제한된 산업용 IoT 등의 분야에 적용시에 과도한 전력 사용으로 인한 전력 공급 중단이 발생하지 않고 비용 효율적인 통신을 수행할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 통신 시스템의 개략적 구조를 나타낸다.
- 도 2는 도 1의 기지국의 개략적 구성을 나타낸다.
- 도 3은 도 2의 전송전력 제어부의 상세 구성을 나타낸다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 일 예를 나타낸다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 다른 예를 나타낸다.
- 도 6은 본 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 성능을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0035] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0036] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 통신 시스템의 개략적 구조를 나타낸다.
- [0038] 본 실시예에 다른 무선 통신 시스템은 도 1에 도시된 바와 같이, 기지국(BS)과 K개의 단말(UE)이 포함될 수 있다. 여기서 K개의 단말(UE)은 산업용 사물 인터넷(IIoT) 단말일 수 있다. 즉 본 실시예에 따른 무선 통신 시스템은 IIoT 네트워크일 수 있다. IIoT 네트워크에서는 일반적으로 서비스 영역이 한정되므로, 설계 비용을 절감하기 위해 단순 셀 구조를 갖는다. 이에 본 실시예에서는 무선 통신 시스템이 단일 셀 IIoT 네트워크인 것으로 가정한다. 비록 단일 셀일지라도 IIoT 네트워크에는 많은 수의 IIoT 단말(UE)이 셀 내에 배치될 수 있다. 경우에 따라 K개의 단말(UE)은 기지국(BS)과 데이터 통신을 수행할 뿐만 아니라 무선 전력을 공급받을 수도 있

다.

- [0039] 도 2는 도 1의 기지국의 개략적 구성을 나타낸다.
- [0040] 도 2를 참조하면, 기지국(BS)은 기저 대역부(100), 다수의 RF 체인(200), 프리코딩부(300), 전송전력 제어부(400) 및 M개의 안테나를 포함할 수 있다.
- [0041] 기저 대역부(100)는 전송할 데이터를 인가받아 M개의 안테나에 대응하는 송신 데이터로 변환한다. 이때 기저 대역부(100)는 변환된 송신 데이터를 아날로그 신호로 변환하여 출력할 수 있다. 다수의 RF 체인(200)은 기저 대역부(100)에서 인가되는 아날로그 신호를 인가받아 기지정된 주파수 대역의 신호로 업링크 변환한다. 프리코딩부(300)는 다수의 파워 앰프(Power Amp) 등을 포함할 수 있다. 프리코딩부(300)는 다수의 RF 체인(200) 각각에서 출력되는 신호를 인가받고, 전송전력 제어부(400)의 제어에 따라 전력 세기를 조절하여 전력 제어 프리코딩된 프리코딩 신호를 생성하며, 생성된 프리코딩 신호를 M개의 안테나로 전달한다. M개의 안테나는 프리코딩부(300)에서 전달되는 신호에 따라 송신 신호를 다수의 IIoT 단말(UE)로 전송한다.
- [0042] 여기서는 일 예로서, 아날로그 기반의 프리코딩부(300)만이 M개의 안테나로 전송되는 신호의 세기를 조절하는 프리코더로 동작하는 것으로 설명하였으나, 경우에 따라서 기지국(BS)은 기저 대역부(100)가 디지털 프리코딩을 수행하고, 이후 프리코딩부(300)가 아날로그 프리코딩을 수행하는 하이브리드 프리코더의 형태로 구성될 수도 있다.
- [0043] 여기서 전송전력 제어부(400)는 본 실시예에 따른 전송전력 제어 장치로 동작하여 업링크 전송을 위한 타겟 데이터 전송률(data rate) 또는 타겟 처리량(Target Throughput)을 설정하고, 제약된 조건 하에서 설정된 타겟 처리량을 만족할 수 있는 다수의 IIoT 단말(UE)의 업링크 전송전력을 판별한다. 그리고 판별된 업링크 전송전력에 따라 기지국(BS)이 다수의 IIoT 단말(UE)로 에너지 효율적으로 다운링크 송신 신호를 전송할 수 있도록 다운링크 전송전력을 계산하여 프리코딩부(300)를 제어한다.
- [0044] 이때 전송전력 제어부(400)는 타겟 처리량을 다수의 IIoT 단말(UE)의 평균 요구 처리량(Average Required Throughput: ARTP)에 따라 설정하거나, 다수의 IIoT 단말(UE)의 최대 요구 처리량(Maximum Required Throughput: MRTP)에 기반하여 설정할 수 있다. 그리고 설정된 타겟 처리량에 따라 판별된 다수의 IIoT 단말(UE)의 업링크 전송전력을 이용하여 다운링크 전송전력을 판별함으로써, 프리코딩부(300)에서 M개의 안테나로 전송될 프리코딩 신호의 전력을 조절한다.
- [0045] 다수의 IIoT 단말(UE)이 기지국(BS)으로 업링크 송신 신호를 전송할 때, 전송전력을 결정하는 가장 간단한 방법은 다수의 IIoT 단말(UE)이 미리 결정된 고정 전력으로 업링크 송신 신호를 전송하는 것이다. 그러나 다수의 IIoT 단말(UE)이 고정된 동일한 전송전력으로 업링크 송신 신호를 전송하는 경우, 기지국(BS)에 인접한 IIoT 단말(UE)은 높은 데이터 전송률로 통신을 수행하는데 반해, 먼 거리의 IIoT 단말(UE)은 낮은 데이터 전송률로 통신을 수행하거나 통신을 수행하지 못하게 된다. 또한 IIoT 네트워크에서와 같이, 대규모 MIMO 시스템에서는 IIoT 단말(UE)의 개수가 매우 많으며, 이로 인해 기지국(BS)이 다운링크 송신 신호를 전송하고자 할 때 전력이 부족해지는 현상이 발생할 수 있다.
- [0046] 일 예로 다수의 IIoT 단말(UE) 각각의 업링크 전송전력(p_u)이 30mW로 고정된 경우를 가정할 수 있다. 이는 이동 통신 시스템에서 단말기의 일반적인 업링크 전송전력인 100 ~ 200mW 보다 상대적으로 매우 적은 전송전력이다. 그럼에도 불구하고, IIoT 단말(UE)의 개수(K)가 1000개이라면, 기지국(BS)의 다운링크 전송전력(p_d)은 업링크 전송전력(p_u)과 IIoT 단말(UE)의 개수(K)의 곱($p_d = K \cdot p_u$)으로 300W로 계산된다. 일반적으로 대역폭(B)이 20MHz인 이동 통신 시스템에서 다운링크 전송전력이 80W인 점을 고려할 때, 대규모 MIMO 시스템에서 다수의 IIoT 단말(UE)이 고정된 업링크 전송전력을 갖는 경우, 기지국(BS)은 높은 다운링크 전송전력으로 인해 비용이 증가될 수 있다. 더욱이 기지국(BS)의 전력 부족으로 인해 통신이 중단되는 경우도 발생할 수 있다.
- [0047] 이에 본 실시예의 전송전력 제어 장치인 전송전력 제어부(400)는 대규모 MIMO 시스템에서 다수의 IIoT 단말(UE)과 기지국(BS) 사이의 통신이 중단되지 않고 저비용으로 유지될 수 있도록 IIoT 단말(UE)의 평균 요구 처리량(ARTP) 또는 최대 요구 처리량(MRTP)에 기반하여 에너지 효율적으로 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력을 결정하도록 한다.
- [0048] 본 실시예에서는 기지국(BS)은 M개의 안테나를 포함하여, 빔 포밍 기법에 따라 간섭을 제어하면서 K개의 IIoT 단말(UE)로 데이터를 송수신할 수 있다. 그리고 K개의 IIoT 단말(UE)은 모두 하나의 단일 안테나를 포함하는 것으로 가정한다.

- [0049] 도 3은 도 2의 전송전력 제어부의 상세 구성을 나타낸다.
- [0050] 도 3을 참조하면, 전송전력 제어부(400)는 업링크 전송전력 할당부(410) 및 다운링크 전송전력 할당부(420)를 포함할 수 있다. 업링크 전송전력 할당부(410)는 평균 요구 처리량(ARTP) 또는 최대 요구 처리량(MRTP)에 따라 K개의 IIoT 단말(UE)이 기지국(BS)으로 송신 신호를 전송할 업링크 전송전력을 할당한다.
- [0051] 그리고 다운링크 전송전력 할당부(420)는 업링크 전송전력 할당부(410)에서 결정된 업링크 전송전력에 따라 기지국(BS)이 K개의 IIoT 단말(UE)로 송신 신호를 전송할 다운링크 전송전력을 할당한다.
- [0052] 업링크 전송전력 할당부(410)는 타겟 처리량 설정부(411), 타겟 SINR 판별부(412), 업링크 SNR 설정부(413) 및 업링크 전송전력 판별부(414)를 포함할 수 있다.
- [0053] 우선 타겟 처리량 설정부(411)는 K개의 IIoT 단말(UE)의 데이터 전송율을 나타내는 타겟 처리량(T_{put_i})을 설정한다. 여기서 타겟 처리량 설정부(411)는 상기한 바와 같이, 평균 요구 처리량(ARTP) 또는 최대 요구 처리량(MRTP)에 기반하여 타겟 처리량(T_{put_i})을 설정할 수 있다.
- [0054] 평균 요구 처리량(ARTP)에 기반하는 경우, 타겟 처리량 설정부(411)는 K개의 IIoT 단말(UE)이 평균적으로 유지해야 하는 데이터 전송율을 타겟 처리량(T_{put_i})으로 설정할 수 있다. 반면, 최대 요구 처리량(MRTP)에 기반하는 경우, 타겟 처리량 설정부(411)는 주어진 환경 조건에서의 도달할 수 있는 최대 데이터 전송율을 타겟 처리량(T_{put_i})으로 설정할 수 있다. 이를 위해 타겟 처리량 설정부(411)는 주어진 조건에서 가능한 최대 신호대 간섭 잡음비(Signal-to-Interference and Noise Ratio: 이하 SINR)를 먼저 계산하고, 계산된 최대 SINR에 따른 데이터 전송율을 타겟 처리량(T_{put_i})으로 설정할 수 있다.
- [0055] 타겟 SINR 판별부(412)는 타겟 처리량 설정부(411)에서 설정된 타겟 처리량(T_{put_i})을 만족시킬 수 있는 타겟 신호대 잡음 간섭비(Signal-to-Interference and Noise Ratio: 이하 SINR)($SINR_i$)을 결정한다.
- [0056] 이때 타겟 SINR 판별부(412)는 타겟 처리량 설정부(411)에서 평균 요구 처리량(ARTP)에 기반하여 타겟 처리량(T_{put_i})이 설정된 경우, 설정된 타겟 처리량(T_{put_i})을 만족시킬 수 있는 타겟 SINR($SINR_i$)을 결정한다.
- [0057] 그러나 타겟 처리량 설정부(411)에서 최대 요구 처리량(MRTP)에 기반하여 타겟 처리량(T_{put_i})이 설정된 경우, 우선 스케일링 팩터(scaling factor)를 타겟 처리량(T_{put_i})에 가중하고, 스케일링 팩터(scaling factor)가 가중된 타겟 처리량(T_{put_i})을 만족시킬 수 있는 타겟 SINR($SINR_i$)을 결정할 수 있다. 여기서 타겟 SINR 판별부(412)가 최대 요구 처리량(MRTP)에 기반하여 설정된 타겟 처리량(T_{put_i})에 스케일링 팩터를 가중하는 것은 과도한 전송전력으로 인해 발생할 수 있는 전력 낭비 또는 전력 부족을 방지하기 위해서이다.
- [0058] 경우에 따라서 타겟 SINR 판별부(412)는 평균 요구 처리량(ARTP)에 기반하여 타겟 처리량(T_{put_i})이 설정된 경우에도, 설정된 타겟 처리량(T_{put_i})에 스케일링 팩터를 가중하여 타겟 SINR($SINR_i$)을 결정할 수도 있다.
- [0059] 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR 판별부(412)에서 결정된 타겟 SINR($SINR_i$)에 따라 추정되는 업링크 신호대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio: 이하 SNR)(ρ_u)가 미리 지정된 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)을 초과하는 판별하여, 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)을 초과하는 경우, 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)을 업링크 SNR(ρ_u)로 설정한다.
- [0060] 업링크 송신 전력 판별부(414)는 업링크 SNR 설정부(413)에서 평가되고 설정된 업링크 SNR(ρ_u)에 따라 업링크 전송전력(p_u)을 결정하고, 결정된 업링크 전송전력(p_u)을 기저 대역부(100)로 전달한다. 이에 기저 대역부(100)는 업링크 송신 전력 판별부(414)에서 결정된 업링크 전송전력(p_u)에 대응하는 전송전력 제어(Transmission Power Control: 이하 TPC) 명령을 송신 데이터로 변환하여 출력할 수 있다. 즉 기지국(BS)은 결정된 업링크 전송전력(p_u)을 TPC 명령으로서 K개의 IIoT 단말(UE)로 전송할 수 있으며, K개의 IIoT 단말(UE)은 TPC 명령에 의해 지정된 업링크 전송전력(p_u)에 따른 세기로 업링크 송신 신호를 기지국(BS)으로 전송할 수 있다.
- [0061] 한편 다운링크 송신 전력 할당부(420)는 업링크 전송전력 할당부(410)에서 결정된 업링크 전송전력(p_u)을 기반

으로 다운링크 전송전력(p_d)을 계산하고, 계산된 다운링크 전송전력(p_d)에 따라 프리코딩부(300)를 제어함으로써, 기지국(BS)이 계산된 다운링크 전송전력(p_d)에 따른 세기로 다운링크 송신 신호를 K개의 IIoT 단말(UE)로 전송하도록 한다.

[0062] 즉 본 실시예에 따른 전송전력 제어 장치는 다수의 IIoT 단말(UE)들이 평균적으로 유지해야하는 데이터 전송율 또는 주어진 조건에서 최대 데이터 전송율을 대응하는 타겟 처리량을 설정하고, 설정된 타겟 처리량을 달성하기 위한 타겟 SINR을 계산하여 에너지 효율적인 업링크 전송전력을 결정하고, 결정된 업링크 전송전력에 따라 다운링크 전송전력을 결정할 수 있다. 뿐만 아니라, 과도한 전송전력 결정으로 인한 전력 낭비를 방지하기 위해 스케일링 팩터를 도입함으로써, 사용 가능한 전력이 제한된 산업용 IoT 등의 분야에 적용시에 과도한 전력 사용으로 인한 전력 공급 중단이 발생하지 않고 비용 효율적인 통신을 수행할 수 있도록 한다.

[0063] 이하에서는 전송전력 제어부(400)가 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력을 결정하는 기법을 구체적으로 설명한다.

[0064] 우선 M개의 안테나를 갖는 기지국(BS)과 K개의 IIoT 단말(UE) 사이의 채널(G)은 $M \times K$ 행렬(또는 벡터)로 수학적 식 1과 같이 모델링될 수 있다.

수학적 식 1

[0065]
$$G \triangleq [\mathbf{g}_1 \ \cdots \ \mathbf{g}_K] \in \mathbb{C}^{M \times K}$$

[0066] 여기서 $\mathbf{g}_k (\mathbf{g}_k \in \mathbb{C}^M)$ 은 $k (k = 1, \dots, K)$ 번째 IIoT 단말(UE_k)에 대한 채널 벡터이다.

[0067] 그리고 다운링크 데이터 채널이 수학적 식 2에 따라 모델링될 수 있다.

수학적 식 2

[0068]
$$\mathbf{y} = \sqrt{\rho_d} G^T \mathbf{x} + \mathbf{w}$$

[0069] 여기서 $\mathbf{y} (\mathbf{y} \in \mathbb{C}^K)$ 는 K개의 IIoT 단말(UE)에 수신된 수신 신호 벡터이고, ρ_d 는 IIoT 단말의 잡음 전력이 반영된 정규화된 다운링크 SNR, T는 전치 행렬을 나타낸다. 그리고 $\mathbf{x} (\mathbf{x} \in \mathbb{C}^M)$ 는 기지국(BS)의 M개 안테나에 대해 전력 제어 프리코딩된 입력 벡터이고, $\mathbf{w} (\mathbf{w} \in \mathbb{C}^K)$ 는 잡음 벡터이다.

[0070] 한편 다운링크에 대한 전력 제약은 기지국(BS)의 프리코딩부(300)에서 M개 안테나로 인가되는 전력 제어 프리코딩된 프리코딩 신호인 입력 벡터(\mathbf{x})를 기반으로 수학적 식 3으로 지정될 수 있다.

수학적 식 3

[0071]
$$\mathbb{E}[\mathbf{x}^\dagger \mathbf{x}] \leq \mathbf{1}$$

[0072] 여기서 $\mathbb{E}[\cdot]$ 는 기대치를 나타내고, \dagger 는 에르미트 행렬(hermitian matrix)(또는 켈레 전치 행렬)을 나타낸다.

[0073] 기지국(BS)과 K개의 IIoT 단말(UE) 사이의 채널(G) 중 k번째 IIoT 단말(UE_k)과 기지국(BS)의 M개의 안테나 어레이 사이의 채널 벡터(\mathbf{g}_k)는 수학적 식 4로 모델링될 수 있다.

수학식 4

[0074] $\mathbf{g}_k \triangleq \sqrt{\beta_k} \mathbf{h}_k, \quad k = 1, \dots, K$

[0075] 여기서 β_k 는 기하학적 감쇠와 로그 노멀 섀도우 페이딩을 모델링하기 위한 대규모 페이딩 계수이고, $\mathbf{h}_k (\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^M)$ 은 소규모 페이딩을 구성하는 원소이다. 이에 페이딩 채널 행렬(H)은 $H \triangleq [\mathbf{h}_1 \ \dots \ \mathbf{h}_K]$ 로 표현될 수 있으며, 소규모 페이딩 채널 행렬(H)은 독립 동일 분포(independent and identically distributed: i.i.d.)를 갖는 레일리 페이딩(Rayleigh fading)으로 모델링될 수 있다.

[0076] IIoT 단말(UE)의 데이터 심볼($q \in \mathbb{C}^K$)이 0 평균(zero mean)과 단위 분산(unit variance)을 갖고, 비상관관계(uncorrelated)인 것으로 가정하면, 데이터 심볼(q)에 다른 다운링크에 대한 전력 제약은 수학식 5로 나타나고, 비상관 가우시안 잡음(uncorrelated Gaussian noise)($w \in \mathbb{C}^K$)은 수학식 6으로 나타난다.

수학식 5

[0077] $\mathbb{E}[\mathbf{q}\mathbf{q}^\dagger] = I_K$

수학식 6

[0078] $\mathbb{E}[\mathbf{w}\mathbf{w}^\dagger] = I_K$

[0079] 여기서 I_K 는 K 차원 단위 행렬을 나타낸다.

[0080] 수학식 4에 따라 수학식 1의 M개의 안테나를 갖는 기지국(BS)과 K개의 IIoT 단말(UE) 사이의 채널(G)은 수학식 7로 표현될 수 있다.

수학식 7

[0081] $G = H \cdot \text{diag} [\beta_1^{1/2}, \dots, \beta_K^{1/2}]$

[0082] 기존의 대규모 MIMO에서와 마찬가지로, 본 실시예에서도 다운링크 프리코딩은 업링크 기준 신호(reference signal: RS)를 기반으로 수행될 수 있다.

[0083] K 개의 IIoT 단말(UE)은 기지정된 코히어런스 구간(coherence interval)(τ_c)내에 K개의 기준 신호(RS)를 기지국(BS)의 M개의 안테나로 전송하고, 기지국(BS)은 전송된 K개의 기준 신호(RS)의 최소 평균 제곱 오차(Minimum Mean-Square Error: 이하 MMSE)를 계산하여 페이딩 채널 행렬(H)의 추정값(\hat{H})을 획득할 수 있다. 실제 페이딩 채널 행렬(H)을 직접 계산할 수 없으므로, 기지국(BS)은 MMSE에 기반하여 페이딩 채널 행렬(H)의 추정값(\hat{H})을 획득한다.

[0084] 일반적으로 대규모 MIMO에서는 최대 비율(maximum-ratio: 이하 MR) 프로세스 또는 제로 포싱(zero-forcing: 이하 ZF) 프로세스에 따라 프리코딩을 수행한다. 특히 대규모 IIoT(UE)와의 연결을 지원하기 위해서는 MR 프로세스가 프리코딩에 더욱 적합하다고 알려져 있다.

[0085] 이에 MR 프리코딩이 수행되는 경우를 가정하면, 프리코딩부(300)에서 출력되는 프리코딩 신호인 입력 벡터(x)는 수학식 8로 표현될 수 있다.

수학식 8

[0086]
$$\mathbf{x} = \hat{H}^* D_{\hat{H}^{\dagger} \hat{H}}^{-1/2} D_{\eta}^{1/2} \mathbf{q}$$

[0087] 여기서 2개의 대각 행렬 ($D_{\hat{H}^{\dagger} \hat{H}}^{-1/2}$, $D_{\eta}^{1/2}$)은 각각 $D_{\hat{H}^{\dagger} \hat{H}}^{-1/2} \triangleq \text{diag} [\|\hat{\mathbf{h}}_1\|_2^{-1}, \dots, \|\hat{\mathbf{h}}_K\|_2^{-1}]$, $D_{\eta}^{1/2} \triangleq \text{diag} [\eta_1^{1/2}, \dots, \eta_K^{1/2}]$ 이고, $\boldsymbol{\eta} = [\eta_1, \dots, \eta_K]^T$ 는 다운 링크 전력 제어 계수로, 다운 링크 전력 제어 계수($\boldsymbol{\eta}$)는 수학식 9의 총 전력 제약 조건을 만족해야만 한다.

수학식 9

[0088]
$$\boldsymbol{\eta} \in [0, 1]^K \text{ and } \|\boldsymbol{\eta}\|_1 \leq 1$$

[0089] 여기서, $\|\cdot\|$ 는 1-norm 함수이다.

[0090] 수학식 2에 수학식 8의 입력 벡터(x)를 대입하면, 수학식 2의 수신 신호 벡터(y)는 수학식 10으로 다시 표현될 수 있다.

수학식 10

[0091]
$$\mathbf{y} = \sqrt{\rho_d} G^T \hat{H}^* D_{\hat{H}^{\dagger} \hat{H}}^{-1/2} D_{\eta}^{1/2} \mathbf{q} + \mathbf{w}$$

[0092] 그리고 수학식 10은 다시 수학식 11로 단순화될 수 있다.

수학식 11

[0093]
$$\mathbf{y} = \sqrt{\rho_d} G^T F_d^{\text{mr}} D_{\eta}^{1/2} \mathbf{q} + \mathbf{w}$$

[0094] 여기서 F_d^{mr} 은 $\hat{H}^* D_{\hat{H}^{\dagger} \hat{H}}^{-1/2}$ 을 나타낸다.

[0095] 한편, K개의 IIoT 단말(UE)은 자원 효율성을 위해 기지국(BS)으로 전송하는 기준 신호(RS)를 재사용할 수 있으며, 기준 신호(RS)를 재사용하기 위해서는 K개의 IIoT 단말(UE)은 다수의 그룹으로 구분될 필요가 있다. 여기서는 일 예로 K개의 IIoT 단말(UE)이 L개의 그룹으로 구분되는 것으로 가정한다. 따라서 K개의 IIoT 단말(UE) 각각은 $l(l \in 1, \dots, L)$ 번째 그룹의 $j(j \in 1, \dots, J)$ 번째 IIoT 단말($UE_{j,l}$)로 표현될 수 있다. 그리고 각 IIoT 단말($UE_{j,l}$)과 기지국(BS) 사이의 대규모 페이딩 계수($\beta_{j,l}$)에 따라 대규모 페이딩 행렬(Ω)을 수학식 12와 같이 표현할 수 있다.

수학식 12

[0096]
$$\Omega = \begin{pmatrix} \beta_{1,1} & \beta_{1,2} & \cdots & \beta_{1,L} \\ \beta_{2,1} & \beta_{2,2} & \cdots & \beta_{2,L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{J,1} & \beta_{J,2} & \cdots & \beta_{J,L} \end{pmatrix}$$

[0097] 수학식 12에서 각 열에 해당하는 IIoT 단말(UE_{j,1}, UE_{j,2}, ..., UE_{j,L}), 즉 L개의 그룹별 IIoT 단말은 서로 직교하는 기준 신호(RS)를 사용하고, 각 행에 해당하는 IIoT 단말(UE_{1,1}, UE_{2,1}, ..., UE_{J,1})는 동일한 기준 신호(RS)를 사용한다. 이때 그룹(L)의 개수가 증가될수록 기준 신호의 재사용이 증가된다.

[0098] 여기서 각 그룹(L)에 포함되는 IIoT 단말(UE)의 개수는 서로 상이할 수 있으나, 이 경우, L개의 그룹 중 최대 IIoT 단말(UE)을 포함하는 그룹의 IIoT 단말(UE) 개수(여기서는 J개)를 기준으로 나머지 그룹의 대규모 페이딩 계수(β)의 부족분을 0으로 패딩할 수 있다. 즉 대규모 페이딩 행렬(Ω)이 K = J × L 크기의 행렬이 되도록 대규모 페이딩 계수(β)를 0으로 채울 수 있다.

[0099] 직교 기준 신호(RS) 재사용하고, MMSE에 따라 채널을 추정하는 경우, 1번째 그룹의 j번째 IIoT 단말(UE_{j,1})에 대한 채널 추정의 제곱 평균(Λ_{i,j})은 수학식 13으로 계산될 수 있다.

수학식 13

$$\Lambda_{j,l} = \gamma_{j,l} \beta_{j,l} = \frac{\tau_p \rho_u \beta_{j,l}^2}{1 + \tau_p \rho_u \sum_{l'=1}^L \beta_{j,l'}}$$

[0100]

[0101] 여기서 γ_{j,1} 1번째 그룹의 j번째 IIoT 단말(UE_{j,1})의 수신 SNR이고, τ_p 는 기준 신호(RS) 길이를 나타낸다.

[0102] 그리고 단일 셀에서 기준 신호(RS)가 재사용되는 경우, 다중 셀의 다운 링크 SINR과 유사하므로, MR 프리코딩 프로세스와 ZF 프리코딩 프로세스가 적용된 다운링크 SINR은 각각 수학식 14 및 15로 표현될 수 있다.

수학식 14

$$\text{SINR}_{j,l}^{\text{MR,dI}} = \frac{M \rho_d \gamma_{j,l} \beta_{j,l} \eta_{j,l}}{1 + \rho_d \beta_{j,l} \sum_{l'=1}^L \sum_{j'=1}^J \eta_{j',l'} + M \rho_d \gamma_{j,l} \beta_{j,l} \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \eta_{j,l'}}$$

[0103]

수학식 15

$$\text{SINR}_{j,l}^{\text{ZF,dI}} = \frac{(M - J) \rho_d \gamma_{j,l} \beta_{j,l} \eta_{j,l}}{1 + \rho_d (\beta_{j,l} - \gamma_{j,l} \beta_{j,l}) \sum_{l'=1}^L \sum_{j'=1}^J \eta_{j',l'} + (M - J) \rho_d \gamma_{j,l} \beta_{j,l} \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \eta_{j,l'}}$$

[0104]

[0105] 여기서 η_{j,1} 은 1 번째 그룹의 j 번째 IIoT 단말(UE_{j,1})에 대한 전력 제어 계수이다.

[0106] 그리고 다운링크 송신 신호 각각은 수학식 16에 따른 개별 전력 제약을 만족해야만 한다.

수학식 16

$$\eta_{j,l} \geq 0, \text{ and } \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \eta_{j,l} \leq 1$$

[0107]

[0108] 즉 K개의 IIoT 단말(UE) 각각에 대한 전력 제어 계수(η_{j,1})는 0이상이어야 하고, K개의 IIoT 단말(UE) 전체에

대한 전력 제어 계수($n_{j,l}$)의 합은 1이하이어야 한다.

[0109] 한편 업링크 기준 신호(RS)에 기반하여 다운링크 채널을 추정하는 대규모 MIMO는 기준 신호에 대한 오버헤드를 줄이기 위해 일반적으로 시분할 듀플렉스(Time Division Duplex: TDD) 모드를 적용한다. TDD 모드에서 각 코히어런스 구간(τ_c) 중 업링크 기준 신호(RS)에 기준 신호 전송 구간(τ_p)이 할당된다고 가정하면, 데이터 신호를 전송하는 구간은 $\tau_c - \tau_p$ 로 할당될 수 있다. 이에 업링크 기준 신호 오버헤드는 τ_p/τ_c 로 계산된다.

[0110] 따라서 다운링크 스펙트럼 효율(spectral efficiency)(SE)은 수학적 식 17로 계산될 수 있다.

수학적 식 17

[0111]
$$SE = \sum_{i=1}^{\chi^d} \zeta^d \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + SINR_i^{dl})$$

[0112] 여기서 $SINR_i^{dl}$ 은 i 번째 IIoT 단말에 대한 다운링크 SINR이고, χ^d 는 동시 다운 링크 전송 가능한 IIoT 단말의 수를 나타내는 조절 가능한 팩터이다. 그리고 ζ^d 는 데이터 전송을 위한 다운링크에 할당된 다운링크 자원비를 나타내고, ζ^u 는 데이터 전송을 위한 업링크에 할당된 업링크 자원비를 나타내며, 다운링크 자원비(ζ^d)와 업링크 자원비(ζ^u)의 합은 $1 (= \zeta^d + \zeta^u)$ 이다. 만일 업링크와 다운 링크에 동일한 자원이 할당된다고 가정하면, 다운링크 자원비(ζ^d)와 업링크 자원비(ζ^u)는 모두 0.5로 설정될 수 있다.

[0113] 이 경우, K 개의 IIoT 단말(UE)의 처리량(T_{put})은 수학적 식 18로 계산될 수 있다.

수학적 식 18

[0114]
$$T_{put} = 0.5B \left(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c}\right) \log_2(1 + SINR^{dl})$$

[0115] 여기서 $SINR^{dl}$ 은 다운링크 SINR로서 기지국(BS)의 프리코딩 프로세스에 따라 $SINR^{MR,dl}$ 또는 $SINR^{ZF,dl}$ 로 구분되어 표시될 수 있으며, B 는 대역폭이다.

[0116] 프리코딩 프로세스로 MR 프로세스가 적용되는 경우를 우선 살펴보면, K 개의 IIoT 단말(UE)의 전력 부족을 방지하기 위해서 다운링크 송신 전력을 제어하여 K 개의 IIoT 단말(UE) 각각의 수신 SNR($\gamma_{i,j} \equiv \gamma$)을 동일하게 할 필요가 있다. 이 경우 K 개의 IIoT 단말(UE) 각각에 대규모 페이딩 계수($\beta_{i,j}$)를 동일한 상수로 설정하는 것과 같은 효과를 나타낸다. 따라서 K 개의 IIoT 단말(UE) 각각에 대한 대규모 페이딩 계수($\beta_{i,j}$)는 모두 대규모 페이딩 상수(β)로 표현($\beta_{i,j} \equiv \beta$)될 수 있다.

[0117] 따라서 동일해진 수신 SNR($\gamma_{i,j} = \gamma$)은 수학적 식 19로 나타낼 수 있다.

수학적 식 19

[0118]
$$\gamma_{j,l} \equiv \gamma = \frac{\tau_p \rho_u \beta}{1 + \tau_p \rho_u \sum_{l'=1}^L \beta} = \frac{\tau_p \rho_u \beta}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}$$

[0119] 대규모 페이딩 계수($\beta_{i,j}$)가 모든 IIoT 단말(UE)에 대해 대규모 페이딩 상수(β)로 동일하기 때문에, K 개의

IIoT 단말(UE)에 대해 동일한 SINR이 반영되도록 동일한 전력 제어 계수($n_{j,l} \equiv 1/K$)가 적용될 수 있다.

[0120] 그러므로 대규모 페이딩 상수(β)는 수학식 14로부터 수학식 20과 같이 획득될 수 있다.

수학식 20

$$\beta = \frac{-(\rho_d J + K \rho_u \tau_p) L \pm \sqrt{(J \rho_d + K \rho_u \tau_p)^2 L^2 - 4 K \rho_d \rho_u \tau_p \left[J L^2 + M(L-1) - \frac{M}{\text{SINR}^{\text{MR,dl}}} \right]}}{2 \tau_p \rho_d \rho_u \left[J L^2 + M(L-1) - \frac{M}{\text{SINR}^{\text{MR,dl}}} \right]}$$

[0121]

[0122] 한편, 수학식 14의 MR 프리코딩 프로세스가 적용된 다운링크 SINR($\text{SINR}_{j,l}^{\text{MR,dl}}$)은 동일한 전력 제어 계수($n_{j,l} \equiv 1/K$)와 수학식 19의 수신 SNR(γ)에 따라 수학식 21로 풀어질 수 있다.

수학식 21

$$\begin{aligned} \text{SINR}_{j,l}^{\text{MR,dl}} &\equiv \text{SINR}^{\text{MR,dl}} \\ &= \frac{M \frac{\rho_d}{K} \frac{\tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}}{1 + \frac{\rho_d}{K} \sum_{l'=1}^L \sum_{j'=1}^J \beta + M \frac{\rho_d}{K} \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \frac{\tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}} \\ &= \frac{M \frac{\rho_d}{K} \frac{\tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}}{1 + \frac{\rho_d J L \beta}{K} + M \frac{\rho_d}{K} \frac{(L-1) \tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}} \\ &= \frac{M \rho_d \frac{\tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}}{K + \rho_d J L \beta + M \rho_d \frac{(L-1) \tau_p \rho_u \beta^2}{1 + \tau_p \rho_u L \beta}} \\ &= \frac{M \rho_d \tau_p \rho_u \beta^2}{(K + \rho_d J L \beta)(1 + \tau_p \rho_u L \beta) + M \rho_d ((L-1) \tau_p \rho_u \beta^2)} \end{aligned}$$

[0123]

[0124] 그리고 수학식 18로부터 다운링크 SINR은 수학식 22로 작성될 수 있다.

수학식 22

$$\text{SINR} = 2^{\frac{T_{\text{put}}}{0.5B(1 - \frac{\tau_p}{\tau_c})}} - 1$$

[0125]

[0126] 또한 대규모 페이딩 상수(β)가 0보다 크면($\beta > 0$), 수학식 20으로부터 다운링크 SINR에 대한 제약 조건을 수학식 23과 같이 도출할 수 있다.

수학식 23

$$J L^2 + M(L-1) - \frac{M}{\text{SINR}^{\text{MR,dl}}} < 0$$

[0127]

[0128] 기준 신호(RS)로 인한 오버헤드를 최소화하기 위해 기준 신호(RS) 길이(τ_p)를 각 그룹별 IIoT 단말($\text{UE}_{j,l}$) 개수(J)에 따라 설정($\tau_p = J$)할 수 있다.

[0129] 이에 수학식 20의 대규모 페이딩 상수(β)는 수학식 24로 표현될 수 있다.

수학식 24

$$\beta = \frac{(\rho_d + K\rho_u)JL + \sqrt{(\rho_d + K\rho_u)^2 J^2 L^2 + 4K\rho_d\rho_u \left[\frac{JM}{T_{put} \left(2^{B\left(1 - \frac{J}{K}\right)} - 1 \right)} - K^2 - M(K - J) \right]}}{2\rho_d\rho_u \left[\frac{JM}{T_{put} \left(2^{B\left(1 - \frac{J}{K}\right)} - 1 \right)} - K^2 - M(K - J) \right]}$$

[0130]

[0131] 수학식 21, 23 및 24로부터 기지국(BS)이 MR 프로세스에 따라 프리코딩하는 경우, 다운링크 SINR($SINR^{MR,d1}$)은 수학식 25와 같이 근사(approximation)될 수 있다.

수학식 25

$$SINR^{MR,d1,appr} = \frac{M}{JL^2 + M(L - 1)} = \frac{M}{J(K/J)^2 + M((K/J) - 1)}$$

[0132]

[0133] 수학식 25의 근사된 근사 다운링크 SINR($SINR^{MR,d1,appr}$)은 전송전력(p_u, p_d)에 무관하므로, 전송전력(p_u, p_d)이 고려되지 않은 이상적인 최대 다운링크 SINR로 볼 수 있으며, 이를 기준 SINR($SINR_0$)이라 할 수 있다.

[0134] 또한 기지국(BS)의 다운링크 전송전력(p_d)은 업링크 전송전력(p_u)과 IIoT 단말(UE)의 개수(K)의 곱($p_d = K \circ p_u$)으로 설정될 수 있으며, 이에 수학식 24의 대규모 페이딩 상수(β)는 수학식 26으로 정리될 수 있다.

수학식 26

$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{(\rho_d + K\rho_u)JL + \sqrt{(\rho_d + K\rho_u)^2 J^2 L^2 + 4K\rho_d\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}}{2\rho_d\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]} \\
 &= \frac{(K\rho_u + K\rho_u)JL + \sqrt{(K\rho_u + K\rho_u)^2 J^2 L^2 + 4K^2\rho_u\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}}{2K\rho_u^2 \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]} \\
 &= \frac{2K^2\rho_u + \sqrt{(2K\rho_u)^2 K^2 + (2K\rho_u)^2 \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}}{2K\rho_u^2 \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]} \\
 &= \frac{K + \sqrt{K^2 + \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}}{\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]} \\
 &= \frac{K + \sqrt{\frac{JM}{T_{\text{put}}} - M(K-J)}}{\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]} \\
 &= \frac{K + \sqrt{\frac{JM}{T_{\text{put}}} - M(K-J)}}{\rho_u \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}
 \end{aligned}$$

[0135]

[0136] 수학식 26에서는 업링크 자원비(ζ^u)는 0.5로 설정된 경우($\zeta^u = \zeta^d = 0.5$)를 가정하였다.

[0137] 이에 수학식 26으로부터 다운링크 SNR(ρ_d)는 수학식 27로 획득될 수 있다.

수학식 27

$$\rho_d = K\rho_u = \frac{K^2 + K \sqrt{\frac{JM}{T_{\text{put}}} - M(K-J)}}{\beta \left[\frac{JM}{T_{\text{put}}} - K^2 - M(K-J) \right]}$$

[0138]

[0139] 그리고 기지국(BS)이 MR 프로세스에 따라 프리코딩하는 경우, 기지국(BS)의 안테나 개수(M)의 하한은 수학식 28로 설정될 수 있다.

수학식 28

$$M > \frac{\text{SINR}^{\text{MR,dI}} J L^2}{1 - \text{SINR}^{\text{MR,dI}}(L-1)} = \frac{J L^2}{\frac{1}{\text{SINR}^{\text{MR,dI}}} + 1 - L}$$

[0140]

[0141] 이는 다시 말해, 기지국(BS)의 안테나 개수(M)가 지정되어 있는 경우, 다운링크 SINR($\text{SINR}^{\text{MR,dI}}$)은 수학식 28을 만족해야 함을 의미한다.

[0142] 한편 기지국(BS)이 ZF 프로세스에 따라 프리코딩하는 경우, 수학식 15로부터 대규모 페이딩 상수(β)는 수학식 29로 획득될 수 있다.

수학식 29

$$\beta = \frac{-L(J\rho_d + K\rho_u\tau_p) \pm \sqrt{L^2(J\rho_d + K\rho_u\tau_p)^2 - 4\tau_p\rho_d\rho_uK \left[(M+LJ-J)(L-1) - \frac{(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF,dI}}} \right]}}{2\tau_p\rho_d\rho_u \left[(M+LJ-J)(L-1) - \frac{(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF,dI}}} \right]}$$

[0143]

[0144] 수학식 29로부터 수학식 30의 다운링크 SINR($\text{SINR}^{\text{ZF,dI}}$)을 획득할 수 있다.

수학식 30

$$\begin{aligned} \text{SINR}^{\text{ZF,dI}} &= \text{SINR}_{j,l}^{\text{ZF,dI}} \\ &= \frac{(M-J)\rho_d\gamma_{j,l}\beta_{j,l}\eta_{j,l}}{1 + \rho_d(\beta_{j,l} - \gamma_{j,l}\beta_{j,l}) \sum_{l'=1}^L \sum_{j'=1}^J \eta_{j',l'} + (M-J)\rho_d\gamma_{j,l}\beta_{j,l} \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \eta_{j,l'}} \\ &= \frac{(M-J)\frac{\rho_d}{K} \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}}{1 + \frac{\rho_d}{K} \sum_{l'=1}^L \sum_{j'=1}^J (\beta - \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}) + (M-J)\frac{\rho_d}{K} \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}} \\ &= \frac{(M-J)\frac{\rho_d}{K} \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}}{1 + \frac{\rho_d}{K} LJ(\beta - \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}) + (M-J)\frac{\rho_d}{K}(L-1) \frac{\tau_p\rho_u\beta^2}{1+\tau_p\rho_uL\beta}} \\ &= \frac{(M-J)\rho_d\tau_p\rho_u\beta^2}{K + \tau_p\rho_uL\beta K + \rho_dLJ\beta + \tau_p\rho_d\rho_uL^2J\beta^2 - \tau_p\rho_d\rho_uLJ\beta^2 + (M-J)\rho_d(L-1)\tau_p\rho_u\beta^2} \\ &= \frac{(M-J)\rho_d\tau_p\rho_u\beta^2}{K + L\beta(\tau_p\rho_uK + J\rho_d) + [L^2J - LJ + (M-J)(L-1)]\tau_p\rho_d\rho_u\beta^2} \\ &= \frac{(M-J)\rho_d\tau_p\rho_u\beta^2}{K + L\beta(\tau_p\rho_uK + J\rho_d) + (M+LJ-J)(L-1)\tau_p\rho_d\rho_u\beta^2}, \end{aligned}$$

[0145]

[0146] 수학식 30의 다운링크 SINR($\text{SINR}^{\text{ZF,dI}}$)은 수학식 31과 같이 근사될 수 있다.

수학식 31

$$\begin{aligned} \text{SINR}^{\text{ZF,dI,appr}} &= \frac{(M-J)}{(M+LJ-J)(L-1)} \\ &= \frac{(M-J)}{(M+K-J)((K/J)-1)} \end{aligned}$$

[0147]

[0148] 수학적식 31의 근사된 근사 다운링크 SINR($\text{SINR}^{\text{ZF},d1,\text{appr}}$)는 ZF 프로세스에서의 SINR인 기준 SINR(SINR_0)이라 할 수 있다.

[0149] 여기서도 기지국(BS)의 다운링크 전송전력(p_d)은 업링크 전송전력(p_u)과 IIoT 단말(UE)의 개수(K)의 곱($p_d = K \cdot p_u$)으로 설정될 수 있으며, 이에 수학적식 29의 대규모 페이딩 상수(β)는 수학적식 32로 정리될 수 있다.

수학적식 32

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{L(J\rho_d + K\rho_u\tau_p) + \sqrt{L^2(J\rho_d + K\rho_u\tau_p)^2 + 4\tau_p\rho_d\rho_uK \left[\frac{(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - (M+LJ-J)(L-1) \right]}}{2\tau_p\rho_d\rho_u \left[\frac{(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - (M+LJ-J)(L-1) \right]} \\ &= \frac{LJ(K\rho_u + K\rho_u) + \sqrt{L^2(JK\rho_u + JK\rho_u)^2 + 4\rho_u^2K^2 \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]}}{2K\rho_u^2 \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]} \\ &= \frac{LJ + \sqrt{L^2J^2 + \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]}}{\rho_u \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]} \\ &= \frac{K + \sqrt{K^2 + \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]}}{\rho_u \left[\frac{J(M-J)}{\text{SINR}^{\text{ZF},d1}} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]} \\ &= \frac{K + \sqrt{K^2 + \left[\frac{J(M-J)}{\frac{T_{\text{put}}}{2^{0.5B(1-\frac{J}{c})}} - 1} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]}}{\rho_u \left[\frac{J(M-J)}{\frac{T_{\text{put}}}{2^{0.5B(1-\frac{J}{c})}} - 1} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]} \end{aligned}$$

[0150]

[0151] 수학적식 32에서도 업링크 자원비(ζ^u)는 0.5로 설정된 경우($\zeta^u = \zeta^d = 0.5$)를 가정하였다.

[0152] 이에 수학적식 32로부터 다운링크 SNR(ρ_d)는 수학적식 33로 획득될 수 있다.

수학적식 33

$$\begin{aligned} \rho_d &= K\rho_u \\ &= \frac{K^2 + K \sqrt{K^2 + \left[\frac{J(M-J)}{\frac{T_{\text{put}}}{2^{0.5B(1-\frac{J}{c})}} - 1} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]}}{\beta \left[\frac{J(M-J)}{\frac{T_{\text{put}}}{2^{0.5B(1-\frac{J}{c})}} - 1} - J(M+LJ-J)(L-1) \right]} \end{aligned}$$

[0153]

[0154] 그리고 기지국(BS)이 ZF 프로세스에 따라 프리코딩하는 경우의 기지국(BS)의 안테나 개수(M)의 하한은 수학적식 34로 설정되므로, 다운링크 SINR($\text{SINR}^{\text{MR},d1}$)은 수학적식 34를 만족해야 한다.

수학식 34

$$M > \frac{LJ(L-1)}{\frac{1}{\text{SINR}_{\text{ZF,dI}}} - (L-1)} + J$$

[0155]

[0156] 한편, 프리코딩 프로세스에 무관하게 업링크 SNR(ρ_u)을 알고 있다면, 업링크 전송전력(p_u)은 수학식 35로 결정될 수 있다.

수학식 35

$$p_u = G_{\text{bs}} + G_{\text{ue}} - N_0B - \omega_{\text{bs}} - \rho_u \text{ (dB)}$$

[0157]

[0158] 여기서 G_{bs} 는 기지국(BS)의 안테나 이득, G_{ue} 는 IIoT 단말(UE)의 안테나 이득, N_0B 는 주어진 대역폭(B)에서의 잡음 전력, ω_{bs} 는 기지국(BS)의 잡음 지수(noise figure)이다. 그리고 IIoT 단말 잡음 지수(ω_{ue})는 기지국(BS)의 잡음 지수(ω_{bs})와 같다고 가정한다.

[0159] 이에 다운링크 전송전력(p_d)은 수학식 36으로 결정될 수 있다.

수학식 36

$$p_d = p_u + K \text{ (dB)}$$

[0160]

[0161] 수학식 35 및 36로부터 업링크 SNR(ρ_u)이 결정되면, 업링크 전송전력(p_u)이 결정될 수 있으며, 업링크 전송전력(p_u)이 결정되면, 다운링크 전송전력(p_d)이 결정될 수 있음을 알 수 있다.

[0162] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 일 예를 나타내며, 도 4는 기지국(BS)이 MR 프로세스 기반 프리코딩을 수행하는 경우에, 평균 요구 처리량(ARTP)에 따라 에너지 효율적으로 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력을 결정하는 방법을 나타낸다.

[0163] 도 1 내지 도 3과 상기한 수학식들을 참조하여, 도 4의 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법을 설명하면, 도 3의 전송전력 제어부(400)의 타겟 처리량 설정부(411)가 평균 요구 처리량(ARTP)에 기반하여 타겟 처리량(T_{put_t})을 설정한다(S11). 이때, 타겟 처리량(T_{put_t})은 대규모 MIMO의 환경에 따라 다양하게 설정될 수 있다. 일 예로 처리량의 누적 분포 함수(cumulative distribution function: CDF)를 기반으로 타겟 처리량(T_{put_t})은 50%로 설정될 수 있다.

[0164] 이때, 기지국(BS)의 전력 부족이 발생하는 것을 방지하기 위한 스케일링 팩터(α^t)가 함께 설정될 수 있다.

[0165] 타겟 SINR 판별부(412)는 MR 프로세스가 적용되는 경우의 처리량(T_{put})에 따른 다운링크 SINR를 계산하는 수학식 22를 기초로 타겟 처리량(T_{put_t})에 대응하는 타겟 SINR(SINR_t)을 수학식 37에 따라 획득할 수 있다(S12).

수학식 37

$$\text{SINR}_t \Leftarrow 2^{\frac{\alpha_t T_{\text{put}_t}}{0.5B \left(1 - \frac{T_{\text{p}}}{T_{\text{c}}}\right)}} - 1$$

[0166]

- [0167] 이때, 타겟 SINR 판별부(412)는 미리 설정된 다운링크 자원비(ζ^d)와 대역폭(B), 코히어런스 구간(τ_c) 및 기준 신호 전송 구간(τ_p)을 확인하여 획득할 수 있다.
- [0168] 그리고 여기서도 다운링크 자원비(ζ^d)가 0.5로 설정된 경우($\zeta^u = \zeta^d = 0.5$)것으로 가정하였다. 또한 스케일링 팩터(α^l)는 일 예로 $0.95 \leq \alpha^l < 1$ 의 범위의 값으로 설정될 수 있으나, 평균 요구 처리량(ARTP)에 따라 타겟 처리량(T_{put_t})이 설정된 경우, 최대 요구 처리량(MRTP)에 따라 타겟 처리량(T_{put_t})이 설정된 경우에 비해 상대적으로 타겟 처리량(T_{put_t})이 낮게 설정되므로, 스케일링 팩터(α^l)는 일반적으로 1로 설정될 수 있다.
- [0169] 타겟 SINR($SINR_t$)이 획득되면, 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR 판별부(412)에서 획득한 타겟 SINR($SINR_t$)에 대한 평가를 수행한다. 먼저 기준 신호(RS) 길이(τ_p)가 각 그룹별 IIoT 단말($UE_{j,1}$) 개수(J)에 대응($\tau_p = J$)한다고 가정하여, 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학적 식 28에 따른 조건을 만족하는지 판별한다(S13). 즉 설정된 타겟 처리량(T_{put_t})에 따라 계산된 타겟 SINR($SINR_t$)이 기지국(BS)의 안테나 개수(M)로 달성할 수 있는지 여부를 판별한다.
- [0170] 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학적 식 28을 만족하는 것으로 판별되면, 수학적 식 27로부터 업링크 SNR(ρ_u)을 획득할 수 있다(S14). 그리고 획득된 업링크 SNR(ρ_u)이 미리 지정된 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 초과하는지 판별한다(S15). 만일 업링크 SNR(ρ_u)이 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 초과하면, 업링크 SNR 설정부(413)는 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 업링크 SNR(ρ_u)로 설정한다(S16).
- [0171] 그러나 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학적 식 28을 만족하지 않는 것으로 판별되면, 즉 타겟 SINR($SINR_t$)이 기지국(BS)의 안테나 개수(M)로 도달할 수 없는 것으로 판별되면, 수학적 식 27과 무관하게 미리 지정된 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)을 업링크 SNR(ρ_u)로 설정한다(S16).
- [0172] 여기서 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)은 수학적 식 25에 따른 기준 SINR($SINR_0$)로부터 수학적 식 27에 따라 계산되어 설정될 수도 있다.
- [0173] 업링크 전송전력 판별부(414)는 업링크 SNR 설정부(413)에서 설정된 업링크 SNR(ρ_u)을 수학적 식 35에 대입함으로써, 업링크 전송전력(p_u)을 획득한다(S17). 그리고 획득된 업링크 전송전력(p_u)을 기저 대역부(100)로 전달하여, 업링크 전송전력(p_u)이 TPC 명령으로서 K개의 IIoT 단말(UE)로 전송되도록 할 수 있다.
- [0174] 그리고 다운링크 송신 전력 할당부(420)는 업링크 전송전력 할당부(410)에서 결정된 업링크 전송전력(p_u)을 수학적 식 36에 대입하여 다운링크 전송전력(p_d)을 획득한다(S18). 이에 획득된 다운링크 전송전력(p_d)에 따라 프리코딩부(300)를 제어할 수 있다.
- [0175] 본 실시예에서 타겟 처리량(T_{put_t})과 업링크 전송전력(p_u)과 다운링크 전송전력(p_d)은 1회 연산으로 결정되지 않고, 기지국 지정된 횟수로 반복 연산되어 획득될 수 있다.
- [0176] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 다른 예를 나타낸다. 도 5에서도 기지국(BS)이 MR 프로세스 기반 프리코딩을 수행하는 경우를 가정한다. 다만 도 5에서는 전송전력 제어부(400)가 최대 요구 처리량(MRTP)에 따라 업링크 전송전력과 다운링크 전송전력을 결정하는 방법을 설명한다.
- [0177] 도 5를 참조하면, 타겟 처리량 설정부(411)는 기지국(BS)의 안테나 개수(M)와 그룹화된 IIoT 단말(UE)의 그룹 개수(L)와 각 그룹 내 IIoT 단말(UE) 개수(J)에 기반하여 수학적 식 25에 따라 기준 SINR($SINR_0$)을 획득할 수 있다(S21). 여기서 기준 SINR($SINR_0$)은 전송전력(p_u, p_d)이 고려되지 않은 이상적인 최대 다운링크 SINR로서 수학적 식 25에 따라 계산될 수 있다. 즉 기지국(BS)의 안테나 개수(M)와 그룹화된 IIoT 단말(UE)의 그룹 개수(L) 및 각 그룹 내 IIoT 단말(UE) 개수(J)로부터 기준 SINR($SINR_0$)을 계산하여 획득할 수 있다.
- [0178] 그리고 획득된 기준 SINR($SINR_0$)로부터 수학적 식 18에 따라 타겟 처리량(T_{put_t})을 계산하여 획득한다(S22). 기준

SINR($SINR_0$)을 전송전력(p_u, p_d)이 고려되지 않은 이상적인 최대 다운링크 SINR로 볼 수 있으므로, 획득된 타겟 처리량(T_{put_t})은 도달 가능한 최대 처리량으로 볼 수 있다.

[0179] 타겟 SINR 판별부(412)는 수학식 22를 기초로 타겟 처리량(T_{put_t})에 대응하는 타겟 SINR($SINR_t$)을 수학식 38에 따라 획득한다(S23).

수학식 38

[0180]
$$SINR_t \Leftarrow 2^{\frac{\delta_t T_{put_t}}{0.5B(1-\frac{p}{\tau_c})}} - 1$$

[0181] 수학식 38에서도 다운링크 자원비(ζ^d)가 0.5로 설정된 경우($\zeta^u = \zeta^d = 0.5$)것으로 가정하였으며, δ^t 는 기지국(BS)의 전력 부족이 발생하는 것을 방지하기 위해 가용 전력을 고려하여 조절될 수 있는 스케일링 팩터이다. 스케일링 팩터(δ^t)는 일 예로 $0.95 \leq \delta^t < 1$ 의 범위의 값으로 설정될 수 있다.

[0182] 타겟 SINR($SINR_t$)이 획득되면, 업링크 SNR 설정부(413)는 평균 요구 처리량(ARTP)에서와 마찬가지로 타겟 SINR 판별부(412)에서 획득한 타겟 SINR($SINR_t$)에 대한 평가를 수행하여, 업링크 SNR(ρ_u)를 설정한다.

[0183] 이에 도 4의 전송전력 제어 방법에서와 마찬가지로, 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학식 28에 따른 조건을 만족하는지 판별한다(S24). 여기서도 기준 신호(RS) 길이(τ_p)는 각 그룹별 IIoT 단말($UE_{j,l}$) 개수(J)에 대응($\tau_p = J$)한다고 가정한다.

[0184] 그리고 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학식 28을 만족하는 것으로 판별되면, 수학식 27로부터 업링크 SNR(ρ_u)을 획득한다(S25). 이후 획득된 업링크 SNR(ρ_u)이 미리 지정된 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 초과하는지 판별한다(S26). 만일 업링크 SNR(ρ_u)이 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 초과하는 것으로 판별되면, 업링크 SNR 설정부(413)는 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)를 업링크 SNR(ρ_u)로 설정한다(S27).

[0185] 반면 업링크 SNR 설정부(413)는 타겟 SINR($SINR_t$)이 수학식 28을 만족하지 않는 것으로 판별되면, 미리 지정된 최대 허용 업링크 SNR($\rho_{u,max}$)을 업링크 SNR(ρ_u)로 설정한다(S27).

[0186] 한편, 업링크 SNR(ρ_u)이 설정되면, 설정된 업링크 SNR(ρ_u)을 수학식 35에 대입함으로써, 업링크 전송전력(p_u)을 획득하여 기저 대역부(100)로 전달한다(S28).

[0187] 그리고 다운링크 송신 전력 할당부(420)는 업링크 전송전력 할당부(410)에서 결정된 업링크 전송전력(p_u)을 수학식 36에 대입하여 다운링크 전송전력(p_d)을 획득하여 프리코딩부(300)를 제어한다(S29).

[0188] 상기에서는 일 예로서 기지국(BS)이 MR 프로세스 프리코딩을 수행하는 경우의 업링크 전송전력(p_u)과 다운링크 전송전력(p_d)을 결정하는 알고리즘을 설명하였으나, 본 실시예는 기지국(BS)이 ZF 프로세스 프리코딩을 수행하는 경우에도 적용될 수 있다. 다만 이 경우, MR 프로세스 프리코딩을 고려하여 적용된 수학식 27, 28은 각각 수학식 33, 34로 대체될 수 있다.

[0189] 도 6은 본 실시예에 따른 무선통신 시스템의 전송전력 제어 방법의 성능을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

[0190] 도 6은 안테나 개수(M)가 400개인 기지국(BS)과 IIoT 단말 개수(K)에 따른 다운링크 스펙트럼 효율(Downlink SE)을 나타낸다. 코히어런스 구간(τ_c)이 5msec, 20msec 및 50msec이고 MR 프리코딩이 적용되는 경우의 스펙트럼 효율을 도시한 것으로 빨간색 0 표시는 시뮬레이션 결과를 나타내고, 파란색 선은 수학식 14에 따른 SINR을 나타내며, 노란색 * 표시는 수학식 25에 따라 근사된 기준 SINR($SINR_0$)을 나타낸다. 도 6으로부터 시뮬레이션 결과는 기준 SINR($SINR_0$)과 잘 일치함을 알 수 있다.

[0191] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의

지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

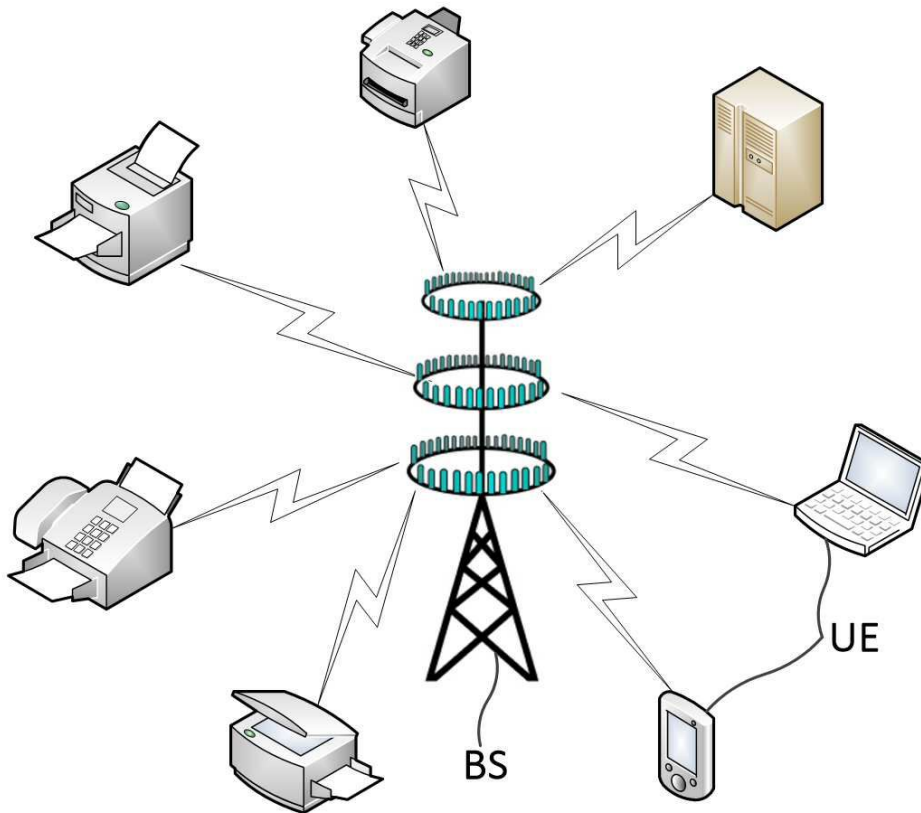
[0192] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

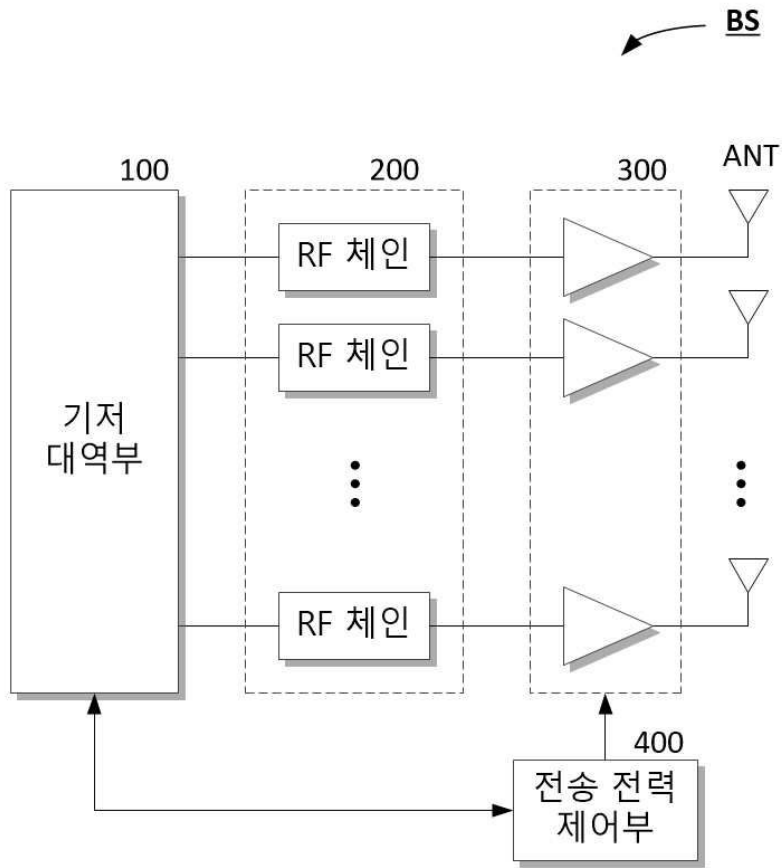
- | | | |
|--------|-------------------|--------------------|
| [0193] | BS: 기지국 | UE: IIoT 단말 |
| | 100: 기저 대역부 | 200: RF 체인 |
| | 300: 프리코딩부 | 400: 전송전력 제어부 |
| | 410: 업링크 전송전력 할당부 | 420: 다운링크 전송전력 할당부 |
| | 411: 타겟 처리량 설정부 | 412: 타겟 SINR 판별부 |
| | 413: 업링크 SNR 설정부 | 414: 업링크 전송전력 판별부 |

도면

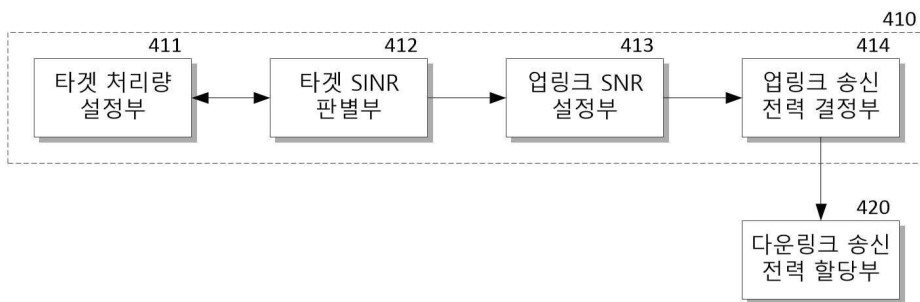
도면1



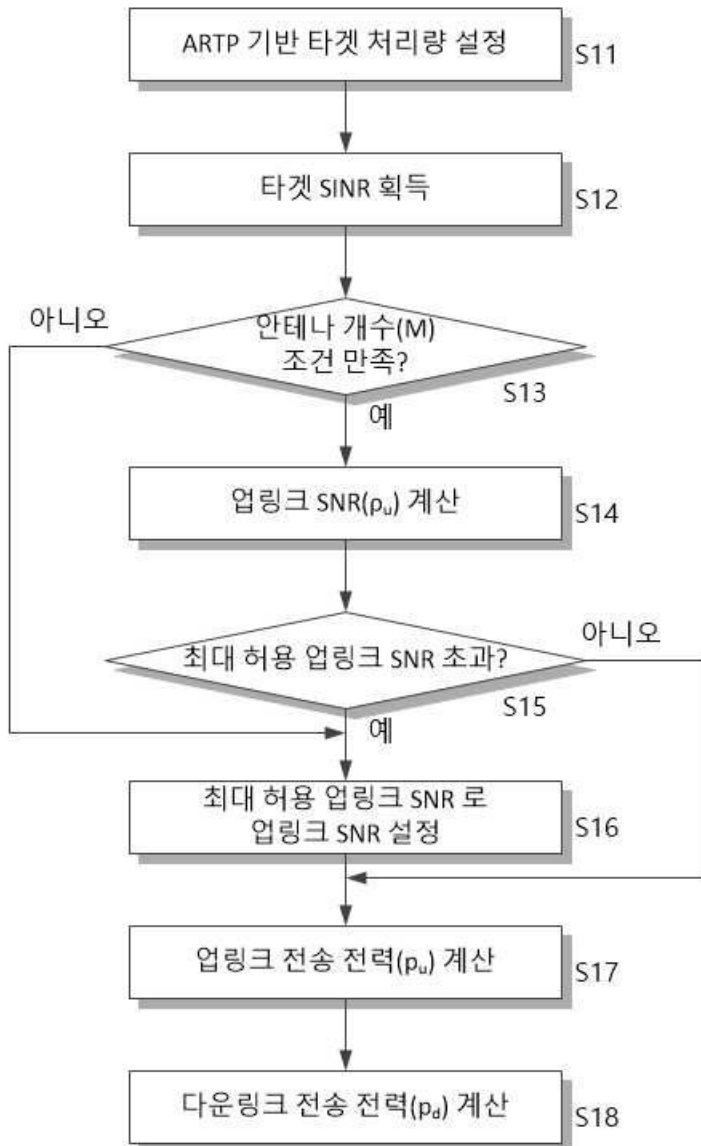
도면2



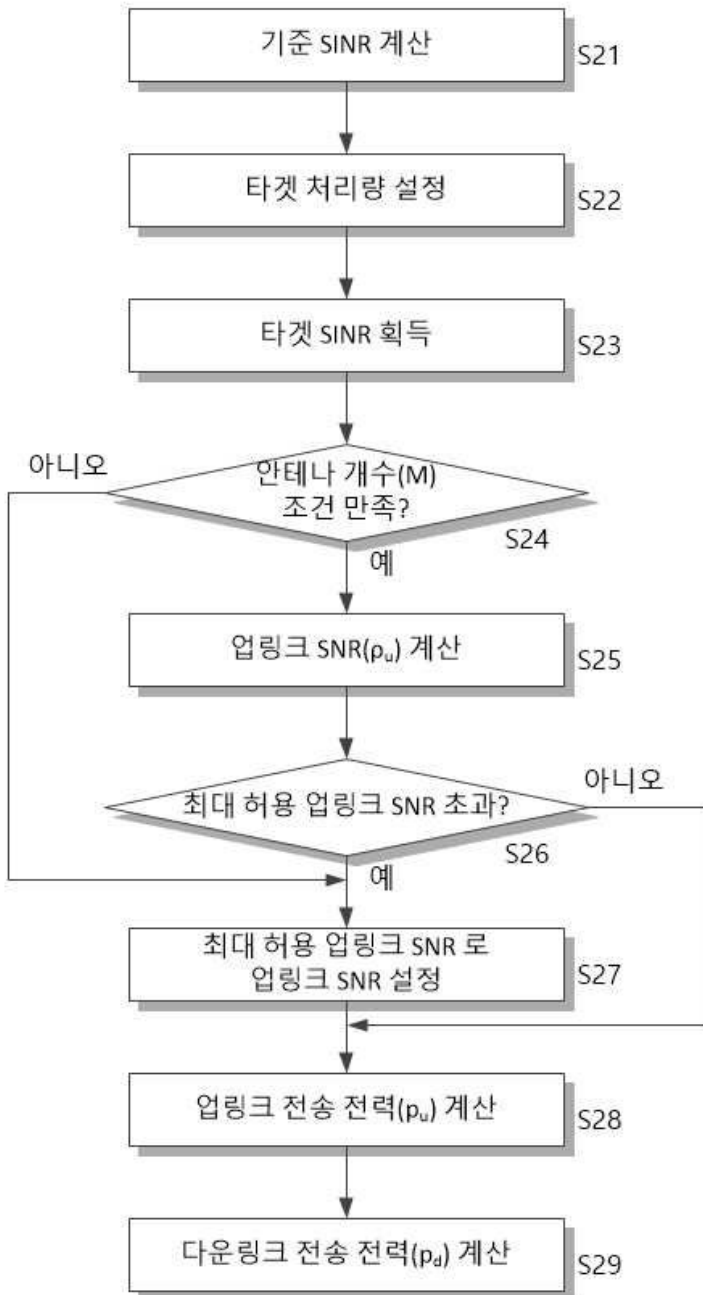
도면3



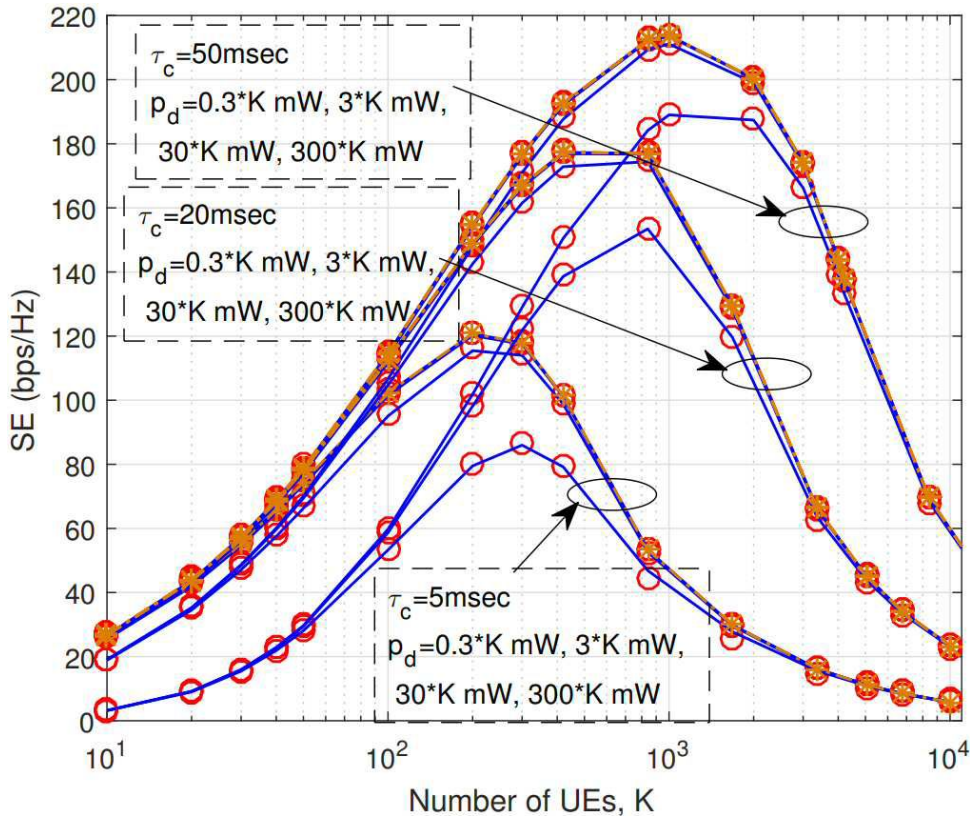
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 11

【변경전】

K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하는 단계;

설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)을 계산하는 단계;

계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하는 단계;

계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 단계; 및

상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 상기 단계를 포함하되,

상기 업링크 전송전력을 결정하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 M개의 안테나로 도달 가능한 SINR로 판별되면, 기지정된 방식으로 업링크 SNR을 계산하는 단계; 및

상기 타겟 SINR이 도달 불가능하거나 계산된 업링크 SNR이 기지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 상기 기준 SINR을 이용하여 계산되는 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 단계를 포함하고,

상기 업링크 SNR을 계산하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학적식

$$\Lambda = \left(\frac{M}{\text{SINR}_t} - JL^2 - M(L - 1) \right) > 0$$

을 만족하는지 판별하는 단계; 및

안테나 개수(M)에 따른 수학적식을 만족하면 수학적식

$$\rho_u = \frac{(J + \tau_p)L + \sqrt{(J + \tau_p)^2 L^2 + 4\tau_p \Lambda}}{2\tau_p \beta \Lambda}$$

(여기서 β 는 기지국과 K개의 단말 사이에 동일하게 설정되는 대규모 페이딩 상수이고, L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, τ_p 는 기준 신호 전송 구간이고, ρ_u 는 계산되는 업링크 SNR)

에 따라 업링크 SNR을 계산하는 단계를 포함하는 전송전력 제어 방법.

【변경후】

K개의 IIoT 단말의 평균 요구 처리량(이하 ARTP) 또는 최대 요구 처리량(이하 MRTP) 중 하나에 따라 타겟 처리량을 설정하는 단계;

설정된 타겟 처리량에 따른 타겟 신호대 간섭 잡음비(이하 타겟 SINR)을 계산하는 단계;

계산된 타겟 SINR을 이용하여 계산되는 업링크 신호대 잡음비(이하 업링크 SNR)를 획득하는 단계;

계산된 업링크 SNR이 기 지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하지 않으면, 계산된 업링크 SNR에 따라 K개의 IIoT 단말로부터 기지국으로의 데이터 전송을 위한 업링크 전송전력을 결정하는 단계; 및

상기 업링크 전송전력에 기초하여 상기 기지국부터 상기 K개의 IIoT 단말로의 데이터 전송을 위한 다운링크 전송전력을 결정하는 상기 단계를 포함하되,

상기 업링크 전송전력을 결정하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 M개의 안테나로 도달 가능한 SINR로 판별되면, 기지정된 방식으로 업링크 SNR을 계산하는 단계; 및

상기 타겟 SINR이 도달 불가능하거나 계산된 업링크 SNR이 기지정된 최대 허용 업링크 SNR을 초과하면, 기준 SINR을 이용하여 계산되는 최대 허용 업링크 SNR을 업링크 SNR로 설정하는 단계를 포함하고,

상기 업링크 SNR을 계산하는 단계는

상기 타겟 SINR이 상기 기지국의 안테나 개수(M)에 따른 수학적식

$$\Lambda = \left(\frac{M}{\text{SINR}_t} - JL^2 - M(L - 1) \right) > 0$$

을 만족하는지 판별하는 단계; 및

안테나 개수(M)에 따른 수학식을 만족하면 수학식

$$\rho_u = \frac{(J+\tau_p)L + \sqrt{(J+\tau_p)^2 L^2 + 4\tau_p \Lambda}}{2\tau_p \beta \Lambda}$$

(여기서 β 는 기지국과 K개의 단말 사이에 동일하게 설정되는 대규모 페이딩 상수이고, L 및 J는 기준 신호(RS)의 재사용을 위해 그룹화된 K개의 단말 그룹 개수와 그룹별 단말 개수이며, τ_p 는 기준 신호 전송 구간이고, ρ_u 는 계산되는 업링크 SNR)

에 따라 업링크 SNR을 계산하는 단계를 포함하는 전송전력 제어 방법.