



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년12월28일  
 (11) 등록번호 10-1803030  
 (24) 등록일자 2017년11월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H04B 7/024 (2017.01) H04B 7/0413 (2017.01)  
 H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/26 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
 H04B 7/024 (2013.01)  
 H04B 7/0413 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0039103  
 (22) 출원일자 2017년03월28일  
 심사청구일자 2017년03월28일  
 (65) 공개번호 10-2017-0113316  
 (43) 공개일자 2017년10월12일  
 (30) 우선권주장  
 1020160036603 2016년03월28일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌  
 S.-H. Park et al., "Fronthaul compression for cloud radio access networks: Signal processing advances inspired by network information theory", IEEE Signal Process. Mag. (2014.10.15.)\*  
 H. Kim et al., "Optimal power allocation scheme for energy efficiency maximization in distributed antenna systems", IEEE Trans. Commun. (2014.12.24.)\*  
 KR1020090052773 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 한밭대학교 산학협력단  
 대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)

(72) 발명자  
 이경재  
 [Redacted]  
 박석환  
 [Redacted]  
 송창익  
 [Redacted]

(74) 대리인  
 특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 김성태

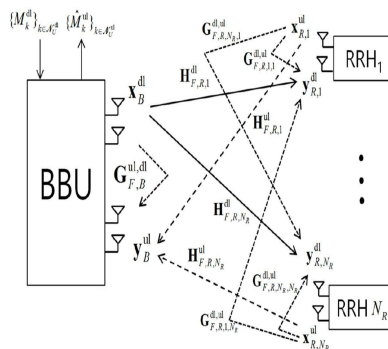
**(54) 발명의 명칭 전이중 방식 무선 프론트홀을 가지는 C-RAN 신호 전송방법**

**(57) 요약**

본 발명은 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법에 있어서, 상기 프론트홀 링크를 통해 BBU(Baseband processing units) 및 하나 이상의 RRH(Remote Radio Head)가 빔포밍(beamforming), 복호화(decoding) 및 압축(Compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하

(뒷면에 계속)

**대표도 - 도1**



는 단계, 상기 액세스 링크를 통해 상기 하나 이상의 RRH와 하나 이상의 사용자 장비(UE)가 빔포밍(beamforming) 및 압축(compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 단계 및 상기 BBU가 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 단계를 포함하여, 상기 상기 BBU 및 상기 하나 이상의 RRH간 프론트홀 링크와 상기 하나 이상의 RRH 및 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)간 액세스 링크는 무선 전이중(wireless full-duplex) 방식으로 연결되어 있고, 상기 최대화하는 단계는 상기 BBU와 상기 RRH 당 송신 전력 제한을 고려하여 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것을 특징으로 한다.

전이중 방식의 무선C-RAN은 기존의 반이중 시스템과 비교할 때, 다운링크와 업링크 UEs의 달성 가능한 최소 전송률 측면에서 약 40%의 성능향상을 이끌어 낼 수 있고, SNR(신호대 잡음비) 또한 약 50%의 성능향상을 이끌어 낼 수 있다.

(52) CPC특허분류

**H04B 7/0617** (2013.01)

**H04B 7/2609** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 B0114-15-0007

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 방송통신산업기술개발사업

연구과제명 (창조씨앗-1단계) 차세대 무선 백홀 시스템을 위한 Massive MIMO 기반 전이중 방식 통신 기술 연구

기여율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2015.11.01 ~ 2016.04.01

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법에 있어서,  
 상기 프론트홀 링크를 통해 BBU(Baseband processing units) 및 하나 이상의 RRH(Remote Radio Head)가 빔포밍 (beamforming), 복호화(decoding) 및 압축(Compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 단계;  
 상기 액세스 링크를 통해 상기 하나 이상의 RRH와 하나 이상의 사용자 장비(UE)가 빔포밍(beamforming) 및 압축 (compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 단계; 및  
 상기 BBU가 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 단계; 를 포함하여  
 상기 BBU 및 상기 하나 이상의 RRH간 프론트홀 링크와 상기 하나 이상의 RRH 및 상기 하나 이상의 사용자 장비 (UE)간 액세스 링크는 무선 전이중(wireless full-duplex) 방식으로 연결되어 있고,  
 상기 최대화하는 단계는 상기 BBU와 상기 RRH 당 송신 전력 제한을 고려하여 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)의 다운링크 및 업링크의 전송률 중 가장 작은 전송률인 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것으로 상기 최대화 단계는 프론트홀 빔포밍( $\mathbf{V}$ , 여기서  $\mathbf{V} \triangleq \mathbf{V}_B^{dl} \cup \mathbf{V}_R^{ul} \cup \mathbf{V}_U^{dl} \cup \mathbf{V}_U^{ul}$ ), 업링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{ul}$ ), 다운링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{dl}$ ), 전송률( $\mathbf{r}$ , 여기서  $\mathbf{R} \triangleq \{R_{min}\} \cup \mathbf{R}_R^{dl} \cup \mathbf{R}_R^{ul}$ )변수를 통해 최적화식인 하기 수학식으로 계산되는 것을 특징으로 하는 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법.

(수학식)

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{\Omega}_R^{ul}, \mathbf{\Omega}_R^{dl}, \mathbf{R}}{\text{maximize}} R_{min} \\
 & \text{s.t. } R_{R,i}^{dl} \leq f_{R,i}^{dl}(\mathbf{V}_B^{dl}), i \in \mathcal{N}_R, \\
 & R_{R,i}^{ul} \leq f_{R,i}^{ul}(\mathbf{V}_R^{ul}), i \in \mathcal{N}_R, \\
 & g_{R,i}^{dl}(\mathbf{V}_U^{dl}, \mathbf{\Omega}_R^{dl}) \leq R_{R,i}^{dl}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & g_{R,i}^{ul}(\mathbf{V}_U^{ul}, \mathbf{V}_U^{dl}, \mathbf{\Omega}_R^{ul}) \leq R_{R,i}^{ul}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & R_{min} \leq f_{U,k}^{dl}(\mathbf{V}_U^{dl}, \mathbf{V}_U^{ul}, \mathbf{\Omega}_R^{dl}), k \in \mathcal{N}_U^{dl}, \\
 & R_{min} \leq f_{U,k}^{ul}(\mathbf{V}_U^{ul}, \mathbf{V}_U^{dl}, \mathbf{\Omega}_R^{ul}, \mathbf{\Omega}_R^{dl}), k \in \mathcal{N}_U^{ul}, \\
 & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_{B,i}^{dl} \mathbf{V}_{B,i}^{dl \dagger}) \leq P_B, \\
 & \text{tr}(\mathbf{V}_{R,i}^{ul} \mathbf{V}_{R,i}^{ul \dagger}) \leq P_{R,i}^{ul}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{dl}} \text{tr}(\Gamma(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{V}_{U,k}^{dl})) + \text{tr}(\mathbf{\Omega}_{R,i}^{dl}) \\
 & \leq P_{R,i}^{dl}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \text{tr}(\mathbf{V}_{U,k}^{ul} \mathbf{V}_{U,k}^{ul \dagger}) \leq P_{U,k}^{ul}, k \in \mathcal{N}_U^{ul},
 \end{aligned}$$

(여기서,  $R_{R,i}^{dl}$ 는 RRH<sub>i</sub> 다운링크의 전송률,  $R_{R,i}^{ul}$ 는 RRH<sub>i</sub> 업링크의 전송률,  $\mathcal{N}_R$ 은 다중 안테나 RRH의 집합,

$\mathcal{N}_U^{dl}$ 는 다운링크 사용자의 집합,  $\mathcal{N}_U^{ul}$ 는 업링크의 사용자 집합,  $\mathbf{V}_B^{dl}$ 는  $\mathbf{s}_{R,i}^{dl}$ 가 적용된 빔포밍 행렬( $\mathbf{s}_{R,i}^{dl}$ 은

RRH<sub>i</sub>에서 암호화된 베이스밴드 신호),  $\mathbf{V}_R^{\text{ul}}$ 는  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}$ 에서의 빔포밍 행렬( $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}$ 는 BBU에서 복호화된 베이스밴드 신호),  $\mathbf{V}_U^{\text{dl}}$  및  $\mathbf{V}_U^{\text{ul}}$ 는 빔포밍 행렬,  $\mathbf{\Omega}_R^{\text{dl}}$  및  $\mathbf{\Omega}_R^{\text{ul}}$ 은 각각 RRH의 업링크 다운링크에서 양자화 공분산 행렬,  $\mathbf{E}_i$ 는  $\mathbf{E}_i = \left[ \mathbf{0}^{\dagger}_{\sum_{j=1}^{i-1} n_{R,j} \times n_R} \quad \mathbf{I}_{n_{R,i}} \quad \mathbf{0}^{\dagger}_{\sum_{j=i+1}^{N_R} n_{R,j} \times n_R} \right]^{\dagger}$ ,  $P_B$ 는 BBU의 송신전력 조건,  $P_{R,i}^{\text{ul}}$ 업링크 RRH<sub>i</sub>의 송신전력 조건,  $P_{R,i}^{\text{dl}}$  다운링크 RRH<sub>i</sub>의 송신전력 조건,  $P_{U,k}^{\text{ul}}$ 는 업링크 UEs의 송신전력 조건,  $f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}})$ 는 다운링크 RRH에서의 상호정보량(mutual information),  $f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}})$ 는 업링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{\Omega}_R^{\text{dl}})$ 은 다운링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{\Omega}_R^{\text{ul}})$ 은 업링크 RRH에서의 상호정보량이다.)

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 수학식의 계산은 CCCP(concave-convex procedure)에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법.

**청구항 5**

프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템에 있어서,

BBU(Baseband processing units) 및 하나 이상의 RRH(Remote Radio Head)가 빔포밍(beamforming), 복호화(decoding) 및 압축(Compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 프론트홀 링크; 및

상기 하나 이상의 RRH와 하나 이상의 사용자 장비(UEs)가 빔포밍(beamforming) 및 압축(compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 액세스 링크;를 포함하여

상기 BBU 및 상기 하나 이상의 RRH간 프론트홀 링크와 상기 하나 이상의 RRH 및 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)간 액세스 링크는 무선 전이중(wireless full-duplex)방식으로 연결되어 있고,

상기 BBU는 상기 BBU와 상기 RRH 당 송신 전력 제한을 고려하여 하여 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)의 다운링크 및 업링크의 전송률 중 가장 작은 전송률인 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것으로 상기 최대화하는 것은 프론트홀 빔포밍( $\mathbf{V}$ , 여기서  $\mathbf{V} \triangleq \mathbf{V}_B^{\text{dl}} \cup \mathbf{V}_R^{\text{ul}} \cup \mathbf{V}_U^{\text{dl}} \cup \mathbf{V}_U^{\text{ul}}$ ), 업링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{\text{ul}}$ ), 다운링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{\text{dl}}$ ), 전송률( $\mathbf{r}$ , 여기서  $\mathbf{R} \triangleq \{R_{\min}\} \cup \mathbf{R}_R^{\text{dl}} \cup \mathbf{R}_R^{\text{ul}}$ )변수를 통해 최적화식인 하기 수학식으로 계산되는 것을 특징으로 하는 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템.

(수학식)

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \Omega_R^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}, \mathbf{R}}{\text{maximize}} R_{\min} \\
 & \text{s.t. } R_{R,i}^{\text{dl}} \leq f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}}), i \in \mathcal{N}_R, \\
 & R_{R,i}^{\text{ul}} \leq f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}}), i \in \mathcal{N}_R, \\
 & g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \leq R_{R,i}^{\text{dl}}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}) \leq R_{R,i}^{\text{ul}}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}, \\
 & R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}, \\
 & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}\dagger}) \leq P_B, \\
 & \text{tr}(\mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}\dagger}) \leq P_{R,i}^{\text{ul}}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \text{tr}(\Gamma(\mathbf{E}_i^{\dagger} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}})) + \text{tr}(\Omega_{R,i}^{\text{dl}}) \\
 & \leq P_{R,i}^{\text{dl}}, i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \text{tr}(\mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}\dagger}) \leq P_{U,k}^{\text{ul}}, k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}},
 \end{aligned}$$

(여기서,  $R_{R,i}^{\text{dl}}$  는 RRH<sub>i</sub> 다운링크의 전송률,  $R_{R,i}^{\text{ul}}$  는 RRH<sub>i</sub> 업링크의 전송률,  $\mathcal{N}_R$ 은 다중 안테나 RRH의 집합,  $\mathcal{N}_U^{\text{dl}}$  는 다운링크 사용자의 집합,  $\mathcal{N}_U^{\text{ul}}$  는 업링크의 사용자 집합,  $\mathbf{V}_B^{\text{dl}}$  는  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{dl}}$ 가 적용된 빔포밍 행렬( $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{dl}}$ 은 RRH<sub>i</sub>에서 암호화된 베이스밴드 신호),  $\mathbf{V}_R^{\text{ul}}$  는  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}$ 에서의 빔포밍 행렬( $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}$ 는 BBU에서 복호화된 베이스밴드 신호),  $\mathbf{V}_U^{\text{dl}}$  및  $\mathbf{V}_U^{\text{ul}}$  는 빔포밍 행렬,  $\Omega_R^{\text{dl}}$  및  $\Omega_R^{\text{ul}}$  은 각각 RRH의 업링크 다운링크에서 양자화 공분산 행렬,  $\mathbf{E}_i$  는  $\mathbf{E}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{0}^{\dagger} & & & \\ & \sum_{j=1}^{i-1} n_{R,j} \times n_R & & \\ & & \mathbf{I}_{n_{R,i}} & \\ & & & \mathbf{0}^{\dagger} & \\ & & & & \sum_{j=i+1}^{N_R} n_{R,j} \times n_R \end{bmatrix}^{\dagger}$ ,  $P_B$  는 BBU의 송신전력 조건,  $P_{R,i}^{\text{ul}}$ 업링크 RRH<sub>i</sub>의 송신전력 조건,  $P_{R,i}^{\text{dl}}$  다운링크 RRH<sub>i</sub>의 송신전력 조건,  $P_{U,k}^{\text{ul}}$  는 업링크 UEs의 송신전력 조건,  $f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}})$  는 다운링크 RRH에서의 상호정보량(mutual information),  $f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}})$  는 업링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}})$  은 다운링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}})$  은 업링크 RRH에서의 상호정보량이다.)

### 발명의 설명

#### 기술분야

[0001] 본 발명은 전이중 방식 무선 프론트홀을 가지는 C-RAN 신호 전송방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 원격 라디오 헤드(Remote Radio Heads: RRHs)와 기저밴드처리부(Base Band Units:BBUs)를 무선(wireless) 전이중방식(In-Band full-duplex)으로 연결하는 프론트홀(fronthaul) 시스템 및 신호 전송 방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

[0003] 최근 이동통신 환경은 4세대 통신 기술로 불리는 LTE-A 등의 기술이 주를 이루며 이를 통해 무선 단말로 고용량의 데이터를 주고받는 것이 가능해 졌다. 그러나 수요자들이 보다 많은 대용량의 데이터를 통신하면서 데이터 트래픽 양의 급속한 증대를 가져왔고, 이를 효과적으로 처리하기 위해 주파수 자원의 활용도를 높이는 다양한

시도가 진행되고 있는 실정이다. 현재 이러한 과제를 해결하고자 5세대(5G) 통신기술이 개발되고 있다.

[0004] 차세대 5G 통신 기술로서 BBU가 프론트홀 링크를 경유하여 BBU와 연결된 RRHs의 클러스터(cluster) baseband 처리 기능을 수행하는 C-RAN 구조가 주목 받고 있다.

[0005] 이러한 C-RAN 구조에 있어, 종래에는 주로 RRHs와 BBUs간 유선링크가 사용되어 왔으며, 무선링크 방식과 관련하여서는 연구가 미진한 현실이었으며, 무선링크 방식과 관련하여서도 반이중방식(half-duplex)을 사용한 최적화 기술만이 존재하는 실정이었다.

[0006] 따라서 무선 방식에 있어서, 선형 beamforming 과 BBU와 RRHs, 일반적인 페이딩 채널(fading channel environment)에서 다수의 사용자 장비(UEs : User Equipment)에 적용된 프론트홀 압축전력을 동시에 최적화하는 문제를 해결하는 연구가 필요한 실정이었다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0008] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 기존의 C-RAN에 있어서 BBUs와 RRHs간 프론트홀 시스템을 전이중(full-duplex) 무선(wireless) 방식으로 구현하여, 전송률, 안정성, 신뢰성을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 상기한 과제를 해결하기 위해 본 발명은 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법에 있어서, 상기 프론트홀 링크를 통해 BBU(Baseband processing units) 및 하나 이상의 RRH(Remote Radio Head)가 빔포밍(beamforming), 복호화(decoding) 및 압축(Compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 단계, 상기 액세스 링크를 통해 상기 하나 이상의 RRH와 하나 이상의 사용자 장비(UE)가 빔포밍(beamforming) 및 압축(compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 단계 및 상기 BBU가 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 단계를 포함하여, 상기 BBU 및 상기 하나 이상의 RRH간 프론트홀 링크와 상기 하나 이상의 RRH 및 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)간 액세스 링크는 무선 전이중(wireless full-duplex) 방식으로 연결되어 있고, 상기 최대화하는 단계는 상기 BBU와 상기 RRH 당 송신 전력 제한을 고려하여 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한 상기 최소 전송률(minimum rate)는 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)의 다운링크 및 업링크의 전송률 중 가장 작은 전송률인 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한 상기 최대화 단계는 프론트홀 빔포밍( $\mathbf{V}$ , 여기서  $\mathbf{V} \triangleq \mathbf{V}_B^{dl} \cup \mathbf{V}_R^{ul} \cup \mathbf{V}_U^{dl} \cup \mathbf{V}_U^{ul}$ ), 업링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{ul}$ ), 다운링크 공분산( $\mathbf{\Omega}_R^{dl}$ ), 전송률( $\mathbf{R}$ , 여기서  $\mathbf{R} \triangleq \{R_{min}\} \cup \mathbf{R}_R^{dl} \cup \mathbf{R}_R^{ul}$ ) 변수를 통해 최적화식인 하기 수학식으로 계산되는 것을 특징으로 한다.

[0013] (수학식)

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \Omega_R^{\text{dl}}, \Omega_U^{\text{ul}}}{\text{maximize}} R_{\min} \\
 & \text{s.t.} \quad R_{R,i}^{\text{dl}} \leq f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}}), \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad R_{R,i}^{\text{ul}} \leq f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}}), \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \leq R_{R,i}^{\text{dl}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}) \leq R_{R,i}^{\text{ul}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}, \\
 & \quad R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}, \\
 & \quad \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl} \dagger}) \leq P_B, \\
 & \quad \text{tr}(\mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul} \dagger}) \leq P_{R,i}^{\text{ul}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \text{tr}(\Gamma(\mathbf{E}_i^{\dagger} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}})) + \text{tr}(\Omega_{R,i}^{\text{dl}}) \\
 & \quad \leq P_{R,i}^{\text{dl}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \\
 & \quad \text{tr}(\mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul} \dagger}) \leq P_{U,k}^{\text{ul}}, \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}},
 \end{aligned}$$

[0014]

[0015] 또한 상기 수학식의 계산은 CCCP(concave-convex procedure)에 의해 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0016]

그리고 프론트홀 링크(fronthaul link) 및 액세스 링크(access link)를 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템에 있어서, BBU(Baseband processing units) 및 하나 이상의 RRH(Remote Radio Head)가 빔포밍(beamforming), 복호화(decoding) 및 압축(Compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 프론트홀 링크 및 상기 하나 이상의 RRH와 하나 이상의 사용자 장비(UEs)가 빔포밍(beamforming) 및 압축(compression) 중 하나 이상의 과정을 통하여 신호를 송수신하는 액세스 링크를 포함하여 상기 BBU 및 상기 하나 이상의 RRH간 프론트홀 링크와 상기 하나 이상의 RRH 및 상기 하나 이상의 사용자 장비(UE)간 액세스 링크는 무선 전이중(wireless full-duplex)방식으로 연결되어 있고, 상기 BBU는 상기 BBU와 상기 RRH 당 송신 전력 제한을 고려하여 하여 상기 사용자 장비(UE)의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0018]

본 발명을 통하여 전이중 방식의 무선 C-RAN는 기존의 반이중 시스템과 비교할 때, 다운링크와 업링크 사용자 단말이 사이의 달성 가능한 최소 전송률을 종전과 비교하여 약 40% 향상시킬 수 있고, SNR(신호대 잡음비) 또한 약 50% 향상시킬 수 있다.

[0019]

다만, 본 발명의 실시 예들에 따른 전이중 방식 무선 프론트홀을 가지는 C-RAN 신호 전송방법이 달성할 수 있는 효과는 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0021]

본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 본 발명에 따른 C-RAN에서 무선 전이중 방식의 프론트홀 링크(fronthaul link)를 도시한 것이다.

도 2는 본 발명에 따른 C-RAN에서 무선 전이중 방식의 액세스 링크(access link)를 도시한 것이다.

도 3은 본 발명에 따른 평균최저전송률( $R_{\min}$ ) 대 프론트홀 링크 및 액세스 링크 의 다운링크/업링크의 신호대 잡음비(SNR)에 대한 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0022]

본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시 예를 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.

[0023]

이하의 실시 예는 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된

다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0024] 본 발명의 실시 예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 본 발명의 실시 예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 이하에서는, 본 발명에 따른 전이중 방식 무선 프론트홀 링크 및 액세스 링크를 가지는 C-RAN 신호 전송방법을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 C-RAN에서 무선 전이중 방식의 프론트홀 링크(fronthaul link)를 도시한 것이고, 도 2는 본 발명에 따른 C-RAN에서 무선 전이중 방식의 액세스 링크(access link)를 도시한 것이다.

[0027] 본 발명은 전이중 Cloud Radio Access Network (C-RAN)에서 프론트홀 링크와 무선 액세스 링크의 결합 시스템이다.

[0028] 프론트홀 링크에서 BBU는 통신 시스템에서 모듈식 설계, 고집적도, 낮은 전력 소모, 쉬운 전개와 장점을 가진다. 상기 BBU는 기저대역전송(Baseband Transmission)에 이용될 수 있다. 상기 BBU는 전송하려는 정보 또는 신호를 변조하여 반송파에 실어서 전송하는 것이 아니라 직접 전송하는 방식을 취할 수 있다. 즉, 상기 정보 또는 신호를 주파수를 변경하지 않고 기저 대역 신호를 사용하여 전압이나 빛의 강도를 변환하여 전송 할 수 있다. 상기 BBU는 신호를 처리하는 채널 및 제어기를 포함할 수 있다. 상기 BBU는 UEs의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화 하는 계산을 수행하는 계산부를 포함할 수 있다.

[0029] 상기 RRH는 원격 무선 통신을 수행할 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU가 신호를 전송할 때, 전송기 또는 수신기의 역할을 할 수 있다. 기존의 기지국은 BBU와 RRH가 한곳에 일체형으로 정보를 처리하고 전송했으나, 본 발명의 일 실시 예에 따르면 BBU와 RRH가 분리되고, 고속의 무선 전달 장치로 연결되는 구조일 수 있다.

[0030] 여기서 BBU는 복수의 다중 안테나를 가진 RRHs를 통해, 복수의 다중 안테나 다운링크 업링크 UEs와 통신한다. 상기 UE는 사용자 단말로 스마트폰, 스마트 패드, 태블릿 PC 등의 휴대 단말을 포함할 수 있고, 이에 한정되지 않고 다양한 통신 수단을 포함할 수 있다. 대역 외 프론트홀(fronthauling)은 BBU와 RRHs사이의 프론트홀 링크(fronthaul links)가 서로 다른 주파수 또는 RRHs와 UEs 사이의 액세스 링크로부터의 다른 시간 자원을 사용한다고 라고 가정한다.

[0031] 다운 링크(downlink)와 업 링크(uplink)에서 RRH의 클러스터를 통해 공동으로 간섭 관리하는 것을 가능하게 하기 위해, BBU와 RRHs는 베이스밴드 IQ 신호의 양자화된 버전으로 통신한다고 가정한다. UEs의 다운링크와 업링크 최소 전송률을 최대화 하는 문제는 BBU, 시간당 RRH 그리고 시간당-uplink-UE의 전력제한 조건에 달려있다.

[0032] 도 1 및 도 2를 참조하여 본 발명에 따른 C-RAN 시스템을 설명한다. 이 시스템에서 BBU가 독립적인 메시지를  $N_U^{dl}$  다운링크 다중 안테나 단말에 보내고자 한다. 그리고 독립적인 메시지를  $N_R$  다중 안테나 RRHs를 경유한  $N_U^{ul}$  다중안테나로부터 받고자 한다.

[0033] 여기서 BBU와 RRH<sub>i</sub>(i번째 RRH), k번째 다운링크 UE, l 번째 업링크 UE가 각각  $n_B, n_{R,i}, n_{U,k}^{dl}, n_{U,k}^{ul}$  안테나를 사용한다. 각각의 RRH<sub>i</sub>는 프론트홀 또는 액세스 링크의 송수신에 있어 같은 숫자 안테나  $n_{R,i}$ 를 사용한다고 가정한다.

[0034] 여기서 RRH 안테나, 다운링크, 업링크 UE 안테나의 총 수는 각각  $n_R \triangleq \sum_{i \in \mathcal{N}_R} n_{R,i}, n_U^{dl} \triangleq \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{dl}} n_{U,k}^{dl}, n_U^{ul} \triangleq \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{ul}} n_{U,k}^{ul}$  로 정의된다.

[0035] 다운링크에 있어, BBU는 k번째 다운링크 UE를 위한 메시지  $M_k^{dl} \in \{1, \dots, 2^{nR_k^{dl}}\}$  를 생성한다. 여기서 n은 부호화 블록 길이를 나타내는 것으로 충분히 크다고 가정한다. 여기서 상기  $R_k^{dl}$  은 메시지  $M_k^{dl}$  의 전송률이다.

[0036] 업링크에서 각각의 업링크 UE  $k \in \mathcal{N}_U^{ul} \triangleq \{1, \dots, N_U^{ul}\}$  는 BBU에 의해 복호화(decode)된 메시지  $M_k^{ul} \in \{1, \dots, 2^{nR_k^{ul}}\}$  를 생성한다. 여기서  $R_k^{ul}$  는 메시지  $M_k^{ul}$  전송률이다.

[0037] BBU와 RRHs 사이에서 프론트홀 링크 무선채널이 있는 대역 외 프론트홀(fronthauling)을 고려한다. 본 발명은 프론트홀과 액세스 링크가 주파수 또는 시간 도메인에서 분리되어 있다고 가정하는바 양자는 간섭하지 않는다.

[0039] 프론트홀의 다운링크에 대해서 설명한다. 프론트홀 다운링크의 i번째 RRH에서 수신된 신호인  $y_{R,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$  는 다음 수학적 식 1과 같다.

[0040] [수학적 식 1]

$$y_{R,i}^{dl} = H_{F,i}^{dl} x_B + \sum_{j \in \mathcal{N}_R} G_{F,R,i,j}^{dl,ul} x_{R,j}^{ul} + z_{R,i}^{dl} \quad - (1)$$

[0042] 여기서  $x_B \in \mathbb{C}^{n_B \times 1}$  는 BBU에 의해 전송된 신호이고,  $H_{F,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times n_B}$  는 BBU에서 RRH<sub>i</sub>까지의 프론트홀 채널 행렬(channel matrix)이다.  $G_{F,R,i,j}^{dl,ul} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times n_{R,j}}$  는 프론트홀 RRH<sub>j</sub>의 업링크로부터 RRH<sub>i</sub>의 다운링크 수신까지의 간섭 채널(interference channel)이다. 그리고  $z_{R,i}^{dl} \sim \mathcal{CN}(0, \Sigma_{z_{R,i}^{dl}})$  는 상가성 잡음(additive noise)이다. 이때, BBU에서의 송신전력 제한(transmission power constraint)을  $\mathbb{E} \|x_B\|^2 \leq P_B$  로 도입한다.

[0043] 액세스 다운링크에 대해서 설명한다. 액세스 다운링크의 경우, 각 RRH<sub>i</sub>는 액세스 다운링크에서 전송된 신호  $x_{R,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$  를 생성하기 위해 프론트홀 다운링크에서 수신된 신호  $y_{R,i}^{dl}$  를 처리한다. k번째 다운링크 UE에서 수신된 신호  $y_{U,k}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_{U,k}^{dl} \times 1}$  는 다음 수학적 식 (2)와 같다.

[0044] [수학적 식 2]

$$y_{U,k}^{dl} = \sum_{i \in \mathcal{N}_R} H_{A,k,i}^{dl} x_{R,i}^{dl} + \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{ul}} G_{A,U,k,l}^{dl,ul} x_{U,l}^{ul} + z_{U,k}^{dl} \quad - (2)$$

[0046] 여기서  $H_{A,k,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_{U,k}^{dl} \times n_{R,i}}$  는 RRH<sub>i</sub> 에서 k번째 다운링크 UE까지의 액세스 채널 행렬이다.  $G_{A,U,k,l}^{dl,ul} \in \mathbb{C}^{n_{U,k}^{dl} \times n_{U,l}^{ul}}$  는 l번째 업링크 UE에서 k번째 다운링크 UE까지의 간섭채널이다.  $x_{U,l}^{ul} \in \mathbb{C}^{n_{U,l}^{ul} \times 1}$  는 l번째 업링크 UE 전송된 신호이다. 그리고  $z_{U,k}^{dl} \sim \mathcal{CN}(0, \Sigma_{z_{U,k}^{dl}})$  는 상가성 잡음이다. 이 때, 다운링크에서 시간당 RRH 송신전력 제한을  $\mathbb{E} \|x_{R,i}^{dl}\|^2 \leq P_{R,i}^{dl}$  for  $i \in \mathcal{N}_R$  로 도입한다.

[0047] 액세스 업링크에 대해서 설명한다. 액세스 업링크에 i번째 RRH에서 수신된 신호  $y_{R,i}^{ul} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$  는 다음 수학적 식 (3)과 같다.

[0048] [수학적 식 3]

[0049]

$$y_{R,i}^{ul} = \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{ul}} H_{A,i,k}^{ul} x_{U,k}^{ul} + \sum_{j \in \mathcal{N}_R} G_{A,R,i,j}^{ul,dl} x_{R,j}^{dl} + z_{R,i}^{ul} \quad - (3)$$

[0050]

여기서  $H_{A,i,k}^{ul} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times n_{U,k}^{ul}}$  는 k번째 업링크 UE 부터 RRH<sub>i</sub>까지의 채널 행렬이다.  $G_{A,R,i,j}^{ul,dl} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times n_{R,j}}$  는 액세스 링크에서 RRH<sub>j</sub>의 다운링크부터 RRH<sub>i</sub>의 업링크 까지의 간섭채널이다.  $z_{R,i}^{ul} \sim \mathcal{CN}(0, \Sigma_{z_{R,i}^{ul}})$  는 상가성 잡음이다. 각각의 업링크 UE  $k \in \mathcal{N}_U^{ul}$  는  $k \in \mathcal{N}_U$  에서  $\mathbb{E} \|x_{U,k}^{ul}\|^2 \leq P_{U,k}^{ul}$  로 전력 제한이 적용된다.

[0051]

프론트홀 업링크에 대해서 설명한다. 각각의 RRH<sub>i</sub>는 그 수신된 신호인 수학식 (3)의  $y_{R,i}^{ul}$ 에 기반하여 프론트홀 업링크에서 전송된 신호  $x_{R,i}^{ul}$  를 생성한다. 프론트홀 업링크의 BBU에서 수신된 신호  $y_B^{ul} \in \mathbb{C}^{n_B \times 1}$  는 다음 수학식 (4)와 같다.

[0052]

[수학식 4]

[0053]

$$y_B^{ul} = \sum_{i \in \mathcal{N}_R} H_{F,i}^{ul} x_{R,i}^{ul} + G_{F,B}^{ul,dl} x_B^{dl} + z_B^{ul}, \quad - (4)$$

[0054]

여기서  $H_{F,i}^{ul} \in \mathbb{C}^{n_B \times n_{R,i}}$  는 RRH<sub>i</sub>로부터 프론트홀 업링크의 BBU까지의 프론트홀 채널 행렬이다.  $G_{F,B}^{ul,dl} \in \mathbb{C}^{n_B \times n_B}$  는 BBU 자체로부터의 자가 간섭채널이다.  $z_B^{ul} \sim \mathcal{CN}(0, \Sigma_{z_B^{ul}})$  는 상가성 잡음이다. 각각의 RRH  $i \in \mathcal{N}_R$  는 프론트홀 링크에서  $\mathbb{E} \|x_{R,i}^{ul}\|^2 \leq P_{R,i}^{ul}$  로 전력제한이 적용된다.

[0055]

여기서 프론트홀 링크에서의 채널행렬  $\{H_{F,i}^{dl}, H_{F,i}^{ul}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\{G_{F,R,i,j}^{dl,ul}\}_{i,j \in \mathcal{N}_R}$  그리고  $G_{F,B}^{ul,dl}$  과 액세스 링크에서의  $\{H_{A,k,i}^{dl}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{dl}, i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\{H_{A,i,k}^{ul}\}_{i \in \mathcal{N}_R, k \in \mathcal{N}_U^{ul}}$ ,  $\{G_{A,R,i,j}^{ul,dl}\}_{i,j \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\{G_{A,k,l}^{dl,ul}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{dl}, l \in \mathcal{N}_U^{ul}}$  은 BBU, RRHs 그리고 UEs 운영을 관리하기 위하여 BBU에서 추정되고 보고된다고 가정한다.

[0056]

이하에서는 본 발명에 따라 다운링크와 업링크 UEs를 동시에 제공하는, BBU 및 RRHs간의 전이중 방식을 설명한다. 이는 "프론트홀 빔포밍(Beamforming)과 복호화(decode)(Decoding)", "다운링크 빔포밍(Beamforming)과 압축(Compression)", "업링크 빔포밍(Beamforming)과 압축"으로 설명할 수 있다.

[0058]

프론트홀 빔 포밍(Beamforming) 및 복호화(Decoding)과정 관련하여, BBU와 RRHs사이의 프론트홀 다운링크와 업링크에서의 전이중 방식을 설명한다.

[0059]

프론트홀 빔 포밍(Beamforming)에 대해 설명한다. 상기 빔 포밍(Beamforming)은 전파를 원하는 때에 원하는 특정 방향으로만 방사/수신되는 지향성을 가지는 전파 빔을 만들어 내는 것을 의미할 수 있다. 수학식 (1)에 따르는 프론트홀 다운링크 채널은, 하나의 송신기, BBU 그리고  $N_R$  수신기를 가지는 RRHs로 구성되는 다중 안테나 방송 채널로 간주할 수 있다. BBU에서 전송된 신호  $x_B$ 는 다음 수학식 (5)와 같다.

[0060]

[수학식 5]

[0061]

$$x_B = \sum_{i \in \mathcal{N}_R} v_{B,i}^{dl} s_{R,i}^{dl}, \quad - (5)$$

[0062]

여기서  $s_{R,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{L_{R,i}^{dl} \times 1}$  는  $s_{R,i}^{dl} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I})$  에서 전달된 RRH<sub>i</sub>에서 암호화된 baseband 신호이다. 그리고  $v_{B,i}^{dl} \in \mathbb{C}^{n_B \times L_{R,i}^{dl}}$  는 신호  $s_{R,i}^{dl}$  가 적용된 빔포밍 행렬이다.

[0063] 반면에 식 (4)의 프론트홀 업링크 채널은  $N_R$  송신기를 가지는 RRHs, 하나의 수신기, BBU로 구성된 다중 안테나 다중 액세스 채널의 예이다. 공간 다이버시티(spatial diversity)를 활용하기 위해, 각각의 RRH<sub>i</sub>가 그 자신의 전송된 신호를 생성한다고 가정하며 이는 다음 수학적 식 (6)과 같다.

[0064] [수학적 식 6]

[0065] 
$$\mathbf{x}_{R,i}^{\text{ul}} \text{ 는 } \mathbf{x}_{R,i}^{\text{ul}} = \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}, \quad (6)$$

[0066] 여기서  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}} \in \mathbb{C}^{L_{R,i}^{\text{ul}} \times 1}$  는 BBU에 의해 복호화(decode)된 암호화된 베이스 밴드(baseband) 신호이다. 그리고  $\mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times L_{R,i}^{\text{ul}}}$  는 신호  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}$  에서의 빔포밍 행렬이다.

[0067] 프론트홀 복호화(Decoding)에 대해 설명한다. 먼저 각각의 RRH<sub>i</sub>가 업링크 전송에 의한 자기 간섭 신호의 영향을 다음 수학적 식 (7)과 같이 감산(subtract)한다고 가정한다.

[0068] [수학적 식 7]

[0069] 
$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{dl}} &= \mathbf{y}_{R,i}^{\text{dl}} - \mathbf{G}_{F,R,i,i}^{\text{dl,ul}} \mathbf{x}_{R,i}^{\text{ul}} \\ &= \mathbf{H}_{F,i}^{\text{dl}} \sum_{j \in \mathcal{N}_R} \mathbf{V}_{B,j}^{\text{dl}} \mathbf{s}_{R,j}^{\text{dl}} + \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{G}_{F,R,i,j}^{\text{dl,ul}} \mathbf{V}_{R,j}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{R,j}^{\text{ul}} + \mathbf{z}_{R,i}^{\text{dl}}. \end{aligned} \quad (7)$$

[0070] 여기서 다른 RRHs로부터 업링크 전송에 의해 생성된 간섭이 취소에 필요한 정보의 부족으로 취소(cancelled)될 수 없다. RRH는 수학적 식 (7)의 신호  $\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{dl}}$  에 기초하여 신호  $\mathbf{s}_{R,i}^{\text{dl}}$  를 복호화(decode)한다고 가정한다.

[0071] 만약  $\text{for } i \in \mathcal{N}_R$  에서 다음 수학적 식 (8) 조건을 만족한다면,

[0072] [수학적 식 8]

[0073] 
$$\begin{aligned} R_{R,i}^{\text{dl}} &\leq f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}}, \mathbf{V}_R^{\text{ul}}) \triangleq I(\mathbf{s}_{R,i}^{\text{dl}}; \tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{dl}}) \\ &= \Phi \left( \Gamma(\mathbf{H}_{F,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}}), \left( \begin{array}{c} \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \Gamma(\mathbf{H}_{F,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,j}^{\text{dl}}) + \\ \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \Gamma(\mathbf{G}_{F,R,i,j}^{\text{dl,ul}} \mathbf{V}_{R,j}^{\text{ul}}) \\ + \sum_{z_{R,i}^{\text{dl}}} \end{array} \right) \right) \end{aligned} \quad (8)$$

[0074] 전송률 튜플(Rate tuple)  $(R_{R,1}^{\text{dl}}, \dots, R_{R,N_R}^{\text{dl}})$  은 BBU 부터 RRHs까지 달성될 수 있다. 여기서  $\Phi(\mathbf{A}, \mathbf{B}) \triangleq \log \det(\mathbf{A} + \mathbf{B}) - \log \det(\mathbf{B})$  그리고  $\Gamma(\mathbf{A}) \triangleq \mathbf{A} \mathbf{A}^\dagger$  이고,

$\mathbf{V}_B^{\text{dl}} \triangleq \{\mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\mathbf{V}_R^{\text{ul}} \triangleq \{\mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  라고 정의 한다.

[0075] 프론트홀 업링크에서는, 다음과 같은 수학적 식 (9)

[0076] [수학적 식 9]

[0077] 
$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_B^{\text{ul}} &= \mathbf{y}_B^{\text{ul}} - \mathbf{G}_{F,B}^{\text{ul,dl}} \mathbf{x}_B^{\text{dl}} \\ &= \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \mathbf{H}_{F,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}} + \mathbf{z}_B^{\text{ul}}, \end{aligned} \quad (9)$$

[0078] 를 얻기 위해, BBU가 완벽한 자가 간섭 제거(self-interference cancellation)를 수행할 수 있다고 가정한다. 그리고 처리시간을 절약하기 위해 신호  $\tilde{\mathbf{y}}_B^{\text{ul}}$  기초하여 시간당 RRH 복호화(decode)를 병렬로 수행할 수 있다.

[0079] 여기서 만약  $i \in \mathcal{N}_R$  조건에서 다음 수학적 식 (10)을 만족한다면,

[0080] [수학식 10]

$$R_{R,i}^{\text{ul}} \leq f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}}) \triangleq I(\mathbf{s}_{R,i}^{\text{ul}}; \tilde{\mathbf{y}}_B^{\text{ul}}) \quad (10)$$

$$= \Phi \left( \Gamma(\mathbf{H}_{F,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}}), \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \Gamma(\mathbf{H}_{F,j}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,j}^{\text{ul}}) + \Sigma_{z_B^{\text{ul}}} \right)$$

[0081] - (10)

[0082] 전송률 튜플  $(R_{R,1}^{\text{ul}}, \dots, R_{R,N_R}^{\text{ul}})$  은 RRHs부터 BBU까지 달성될 수 있다.

[0083] 다운링크 빔 포밍(Beamforming)과 압축(Compression)을 설명한다. 주어진 프론트홀 빔포밍 행렬  $\mathbf{V}_B^{\text{dl}}, \mathbf{V}_R^{\text{ul}}$  에 서, 프론트홀 다운링크와 업링크 통신에서 달성가능한 전송률인  $\mathbf{R}_R^{\text{dl}} \triangleq \{R_{R,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  그리고  $\mathbf{R}_R^{\text{ul}} \triangleq \{R_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  는 고정되어 있다. 그리고 시스템 모델은 전이중 C-RAN의 달성 가능한 전송률과 함께 고정된 용량의 프론트홀 링크를 감소시킨다. 이하에서는 BBU부터 UEs까지의 다운링크 통신에서 빔포밍과 압축 전략을 설명한다. 업링크에 대한 내용 또한 기술한다.

[0084] BBU는 암호화된 베이스 밴드(baseband) 신호인  $\{\mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}}$  를 얻기 위해 메시지  $\{M_k^{\text{dl}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}}$  를 암호화 한다. 여기서  $\mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}} \in \mathbb{C}^{L_{U,k}^{\text{dl}} \times 1}$  는 메시지  $M_k^{\text{dl}}$  를 암호화 한다. 그리고  $\mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I})$  의 형태로 전달된다. 신호  $\{\mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}}$  는 선형적으로 다음 수학식 (11)과 같이 프리코드(encode)된다.

[0085] [수학식 11]

$$\tilde{\mathbf{x}}_R^{\text{dl}} = \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} \mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}}, \quad (11)$$

[0086] 여기서  $\tilde{\mathbf{x}}_R^{\text{dl}} = [\tilde{\mathbf{x}}_{R,1}^{\text{dl}} \dots \tilde{\mathbf{x}}_{R,N_R}^{\text{dl}}]^{\dagger} \in \mathbb{C}^{n_R \times 1}$  는, 압축되고 RRH<sub>i</sub>로 전송되는 서브벡터(subvector)  $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$  를 가지는, 프리코드된 신호이다. 그리고  $\mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} \in \mathbb{C}^{n_R \times L_{U,k}^{\text{dl}}}$  는 빔 포밍 행렬이다.  $i \in \mathcal{N}_R$  에서 다음과 같은 수학식 (12)를 가지는 행렬을 정의할 때,

[0087] [수학식 12]

$$\mathbf{E}_i = \left[ \mathbf{0}_{\sum_{j=1}^{i-1} n_{R,j} \times n_R}^{\dagger} \quad \mathbf{I}_{n_{R,i}} \quad \mathbf{0}_{\sum_{j=i+1}^{N_R} n_{R,j} \times n_R}^{\dagger} \right]^{\dagger} \quad (12)$$

[0088] 각 서브 벡터  $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}}$  는 다음 수학식 (13)과 같이 쓰여질 수 있다.

[0089] [수학식 13]

$$\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}} = \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \mathbf{E}_i^{\dagger} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} \mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}} \quad (13)$$

[0090] 이어 BBU는 프론트홀 빔포밍과 복호화(decode)에 의해 고정된 전송률  $R_{R,i}^{\text{dl}}$  의 프론트홀 링크에서 프리코드된

신호  $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}}$  의 RRH<sub>i</sub>에게 알리는 것을 시도한다.

[0094] RRH<sub>i</sub>에 의해 전송된 신호  $\mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}$  에 일치하는 압축버전(compressed version)을 가정한다.  $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}}$  는 다음 수학적 (14)와 같은 형태로 RRH에 전달한다.

[0095] [수학적 식 14]

[0096] 
$$\mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}} = \tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}} + \mathbf{q}_{R,i}^{\text{dl}} \quad (14)$$

[0097] 여기서 양자화 잡음을 모델화하는  $\mathbf{q}_{R,i}^{\text{dl}}$  는  $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}}$  와 독립이라고 가정한다. 그리고  $\mathbf{q}_{R,i}^{\text{dl}} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \Omega_{R,i}^{\text{dl}})$  로 전달된다. 상기 공분산은  $\Omega_{R,i}^{\text{dl}} \succeq \mathbf{0}$  이다. 식 (14)에 주어진 신호  $\mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}$  를 전달하는데 필요한 전송률은  $\mathbf{V}_U^{\text{dl}} \triangleq \{\mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}}$  그리고  $\Omega_R^{\text{dl}} \triangleq \{\Omega_{R,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  의 정의를 통해 다음 수학적 식 (15)와 같이 정리할 수 있다.

[0098] [수학적 식 15]

$$g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \triangleq I(\tilde{\mathbf{x}}_{R,i}^{\text{dl}}; \mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}) \quad (15)$$

$$= \Phi \left( \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \Gamma(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}}), \Omega_{R,i}^{\text{dl}} \right), \quad (15)$$

[0099]

[0100] BBU에서  $R_{R,i}^{\text{dl}}$  에 의한 RRH<sub>i</sub>까지의 전송전송률(communication rate)이 상한일 것이기 때문에, 다음 수학적 식 (16)과 같은 제한을 설정한다.

[0101] [수학적 식 16]

[0102] 
$$g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \leq R_{R,i}^{\text{dl}}, \quad i \in \mathcal{N}_R. \quad (16)$$

[0103] 업링크 빔포밍과 압축과정을 설명한다. 업링크 빔포밍과 압축과정은 앞서 언급한 다운링크와 유사하다. 각 업링크 UE  $k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}$  는 암호화한 메시지  $M_k^{\text{ul}}$  의 베이스 밴드 신호인  $\mathbf{s}_{U,k}^{\text{ul}} \in \mathbb{C}^{L_{U,k}^{\text{ul}} \times 1}$  을 생성한다. 그리고  $\mathbf{s}_{U,k}^{\text{ul}} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$  로 전달된다. 그리고 빔포밍 행렬  $\mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \in \mathbb{C}^{n_{U,k}^{\text{ul}} \times L_{U,k}^{\text{ul}}}$  을 이용하여 선형 빔포밍(linear beamforming)을 다음 수학적 식 (17)과 같이 수행한다.

[0104] [수학적 식 17]

[0105] 
$$\mathbf{x}_{U,k}^{\text{ul}} = \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{U,k}^{\text{ul}}, \quad (17)$$

[0106] 각 RRH<sub>i</sub>가, 스스로 수신한 자가 간섭 신호  $\mathbf{G}_{A,R,i,i}^{\text{ul,dl}} \mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}$  를 다음 수학적 식 (18)과 같이 감산한다고 가정한다.

[0107] [수학적 식 18]

[0108] 
$$\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}} = \mathbf{y}_{R,i}^{\text{ul}} - \mathbf{G}_{A,R,i,i}^{\text{ul,dl}} \mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}. \quad (18)$$

[0109] 수학적 식 (14)와 (17)에서 수학적 식 (18)의 신호  $\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}$  는 다음 수학적 식 (19)와 같이 쓰여진다.

[0110] [수학식 19]

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}} = & \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}} \mathbf{H}_{A,i,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{U,k}^{\text{ul}} + \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} \mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}} \\ & + \bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}} \mathbf{q}_R^{\text{dl}} + \mathbf{z}_{R,i}^{\text{ul}}, \end{aligned} \quad (19)$$

[0111] - (19)

[0112] 여기서  $\bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}} \triangleq \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{G}_{A,R,i,j}^{\text{ul,dl}} \mathbf{E}_j^\dagger$  for  $i \in \mathcal{N}_R$ . 라고 정의한다.

[0113] 다운링크에 있어, 전송률  $R_{R,i}^{\text{ul}}$  의 프론트홀 업링크 채널의 RRM,는 신호  $\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}$  를 BBU에게 알려야 한다. 이 때,  $R_{R,i}^{\text{ul}}$  는 프론트홀 빔포밍과 복호화(decode)전략에 의해 결정된다. 전송률은 유한하기 때문에, 신호  $\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}$  는 양자화된 버전으로 생산되기 위해 다음 수학식 (20)과 같이 압축된다.

[0114] [수학식 20]

$$\hat{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}} = \tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}} + \mathbf{q}_{R,i}^{\text{ul}}, \quad - (20)$$

[0115] - (20)

[0116] 여기서 양자화 잡음  $\mathbf{q}_{R,i}^{\text{ul}}$  는  $\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}$  와 독립적이다. 그리고  $\mathbf{q}_{R,i}^{\text{ul}} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \Omega_{R,i}^{\text{ul}})$  로 전달된다. 전송률  $R_{R,i}^{\text{ul}}$  로 신호  $\hat{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}$  를 나타내는 것이 가능하기 때문에, 수학식 (21)과 같은 제한을 부과한다.

[0117] [수학식 21]

$$\begin{aligned} g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}) & \triangleq I(\tilde{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}; \hat{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}) \quad (21) \\ & = \Phi \left( \left( \begin{array}{c} \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}} \Gamma(\mathbf{H}_{A,i,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}}) + \\ \sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \Gamma(\bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}}) \\ + \bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}} \bar{\Omega}_R^{\text{dl}} \bar{\mathbf{G}}_{A,R,i}^{\text{ul,dl}\dagger} + \Sigma_{\mathbf{z}_{R,i}^{\text{ul}}} \end{array} \right), \Omega_{R,i}^{\text{ul}} \right) \leq R_{R,i}^{\text{ul}}, \end{aligned}$$

[0118] - (21)

[0119] 이 때,  $\mathbf{V}_U^{\text{ul}} \triangleq \{\mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}}$ ,  $\Omega_R^{\text{ul}} \triangleq \{\Omega_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\bar{\Omega}_R^{\text{dl}} = \text{diag}(\{\Omega_{R,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R})$  라고 정의한다.

[0120] 상기 무선 전이중으로 동작하는 프론트홀 링크 및 액세스 링크 과정을 통해 UE 메시지가 달성 가능한 전송률에 대해서 살펴본다. 수학식 (11)의 빔포밍과 수학식 (14)의 압축하에서, 수학식 (2)에 기재된 k번째 다운링크 UE 의 수신된 신호  $\mathbf{y}_{U,k}^{\text{dl}}$  는 수학식 (22)와 같이 나타난다.

[0121] [수학식 22]

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{U,k}^{\text{dl}} = & \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{U,l}^{\text{dl}} \mathbf{s}_{U,l}^{\text{dl}} + \bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}} \mathbf{q}_R^{\text{dl}} \\ & + \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}} \mathbf{G}_{A,U,k,l}^{\text{dl,ul}} \mathbf{V}_{U,l}^{\text{ul}} \mathbf{s}_{U,l}^{\text{ul}} + \mathbf{z}_{U,k}^{\text{dl}}, \end{aligned} \quad - (22)$$

[0122] - (22)

[0123] 여기서  $\bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}} \triangleq [\mathbf{H}_{A,k,1}^{\text{dl}} \dots \mathbf{H}_{A,k,N_R}^{\text{dl}}]$ ,  $\mathbf{q}_R^{\text{dl}} \triangleq [\mathbf{q}_{R,1}^{\text{dl}\dagger} \dots \mathbf{q}_{R,N_R}^{\text{dl}\dagger}]^\dagger \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \bar{\Omega}_R^{\text{dl}})$  라고 정의한다.

[0124] UE가 간섭 디코딩 없이 신호  $\mathbf{y}_{U,k}^{\text{dl}}$  에 근거한 목표메시지  $M_k^{\text{dl}}$  를 복호화(decode)한다고 가정하자. 아래의 제한을 만족하는 어떤 전송률  $R_k^{\text{dl}}$  는 다음 수학적 식 (23)과 같이 UE에 대해 달성될 수 있다.

[0125] [수학적 식 23]

$$R_k^{\text{dl}} \leq f_{U,k}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \triangleq I(\mathbf{s}_{U,k}^{\text{dl}}; \mathbf{y}_{U,k}^{\text{dl}}) \quad (23)$$

$$= \Phi \left( \Gamma(\mathbf{H}_{A,k}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}}), \left( \begin{array}{c} \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}} \setminus \{k\}} \Gamma(\bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{U,l}^{\text{dl}}) + \\ \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}} \Gamma(\mathbf{G}_{A,U,k,l}^{\text{dl,ul}} \mathbf{V}_{U,l}^{\text{ul}}) + \\ \bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}} \bar{\Omega}_R^{\text{dl}} \bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{dl}\dagger} + \Sigma_{\mathbf{z}_{U,k}^{\text{dl}}} \end{array} \right) \right).$$

[0126] - (23)

[0127] 업링크 UEs에 있어, BBU가 압축해제 신호  $\{\hat{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  로 부터 BBU에 알려진 다운링크 송신 신호  $\{\mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$  의 영향을 감소한다고 가정한다. 그리고 메시지  $\{M_k^{\text{ul}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}}$  를 복호화(decode)한다. 따라서 전송률  $R_k^{\text{ul}}$  는 다음 수학적 식 (24)와 같은 조건이 만족된다면 k번째 업링크 UE에 대해 달성 가능하다.

[0128] [수학적 식 24]

$$R_k^{\text{ul}} \leq f_{U,k}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \quad (24)$$

$$\triangleq I(\mathbf{s}_{U,k}^{\text{ul}}; \{\hat{\mathbf{y}}_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R} | \{\mathbf{x}_{R,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R})$$

$$= \Phi \left( \Gamma(\bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}}), \left( \begin{array}{c} \sum_{l \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}} \setminus \{k\}} \Gamma(\bar{\mathbf{H}}_{A,l}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,l}^{\text{ul}}) \\ + \bar{\Omega}_R^{\text{ul}} + \Sigma_{\mathbf{z}_R^{\text{ul}}} \end{array} \right) \right)$$

[0129] - (24)

[0130] 여기서 몇 가지 기호를 아래와 같이 정의한다.

$$\bar{\mathbf{H}}_{A,k}^{\text{ul}} \triangleq [\mathbf{H}_{A,1,k}^{\text{ul}\dagger} \cdots \mathbf{H}_{A,N_R,k}^{\text{ul}\dagger}]^\dagger,$$

$$\bar{\Omega}_R^{\text{ul}} \triangleq \text{diag}(\Omega_{R,1}^{\text{ul}}, \dots, \Omega_{R,N_R}^{\text{ul}}),$$

$$\Sigma_{\mathbf{z}_R^{\text{ul}}} \triangleq \text{diag}(\Sigma_{\mathbf{z}_{R,1}^{\text{ul}}}, \dots, \Sigma_{\mathbf{z}_{R,N_R}^{\text{ul}}}).$$

[0131]

[0133] 본 발명은 다운링크 및 업링크간 UE에서, BBU, per-RRH 그리고 per-UE의 전력(power)제한을 만족시키면서, 다운링크와 업링크 UEs간의 최소 전송률(minimum rate)을 최대화하는 것을 목표로 하는바, 이는 아래 수학적 식 (28)을 통하여 해결할 수 있다.

$$\text{maximize } R_{\min} \quad (28a)$$

$$\mathbf{V}, \Omega_R^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}, \mathbf{R}$$

$$\text{s.t. } R_{R,i}^{\text{dl}} \leq f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}}), \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28b)$$

$$R_{R,i}^{\text{ul}} \leq f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}}), \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28c)$$

$$g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}}) \leq R_{R,i}^{\text{dl}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28d)$$

$$g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}) \leq R_{R,i}^{\text{ul}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28e)$$

$$R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}, \quad (28f)$$

$$R_{\min} \leq f_{U,k}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}, \Omega_R^{\text{dl}}), \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}, \quad (28g)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}\dagger}) \leq P_B, \quad (28h)$$

$$\text{tr}(\mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}\dagger}) \leq P_{R,i}^{\text{ul}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28i)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}} \text{tr}(\Gamma(\mathbf{E}_i^{\dagger} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}})) + \text{tr}(\Omega_{R,i}^{\text{dl}}) \leq P_{R,i}^{\text{dl}}, \quad i \in \mathcal{N}_R, \quad (28j)$$

$$\text{tr}(\mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}\dagger}) \leq P_{U,k}^{\text{ul}}, \quad k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}, \quad (28k)$$

[0134] - (28)

[0135] 현재 전이중 시스템에서  $\mathbf{v}$ ,  $\Omega_R^{\text{ul}}$ ,  $\Omega_R^{\text{dl}}$  을 설정하고, 이를 상기 수학적 식 28의 조건에 대입하여,  $R_{\min}$  즉, 다운링크와 업링크 UEs간의 최소 전송률을 최대로 하는 값을 산출할 수 있다. 구체적으로  $R_{\min}$  은 다운링크 및 업링크의 UEs 중에서 가장 작은 전송률을 의미한다. 한편  $f_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_B^{\text{dl}})$  는 다운링크 RRH에서의 상호정보량 (mutual information),  $f_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_R^{\text{ul}})$  는 업링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{dl}}(\mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{dl}})$  은 다운링크 RRH의 상호정보량,  $g_{R,i}^{\text{ul}}(\mathbf{V}_U^{\text{ul}}, \mathbf{V}_U^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}})$  은 업링크 RRH에서의 상호정보량을 나타낸다.

[0136] 여기서  $\mathbf{V} \triangleq \mathbf{V}_B^{\text{dl}} \cup \mathbf{V}_R^{\text{ul}} \cup \mathbf{V}_U^{\text{dl}} \cup \mathbf{V}_U^{\text{ul}}$  및  $\mathbf{R} \triangleq \{R_{\min}\} \cup \mathbf{R}_R^{\text{dl}} \cup \mathbf{R}_R^{\text{ul}}$  로 정의한다. 식 (28)은 (28b)

내지 (28g) 제한 때문에 볼록하지 않다(non-convex). 변수  $\mathbf{W}_{B,i}^{\text{dl}} \triangleq \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{B,i}^{\text{dl}\dagger}$ ,

$\mathbf{W}_{R,i}^{\text{ul}} \triangleq \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}\dagger}$ ,  $\mathbf{W}_{U,k}^{\text{dl}} \triangleq \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}\dagger}$ ,  $\mathbf{W}_{U,k}^{\text{ul}} \triangleq \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}\dagger}$  로 정의할 때, 변수  $\Omega_R^{\text{dl}}, \Omega_R^{\text{ul}}$

그리고  $\mathbf{R}$  에서, 변수  $\{\mathbf{W}_{B,i}^{\text{dl}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\mathbf{W}_R^{\text{ul}} \triangleq \{\mathbf{W}_{R,i}^{\text{ul}}\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ ,  $\mathbf{W}_U^{\text{dl}} \triangleq \{\mathbf{W}_{U,k}^{\text{dl}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}}$  그리고

$\mathbf{W}_U^{\text{ul}} \triangleq \{\mathbf{W}_{U,k}^{\text{ul}}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}}$  와 관련하여 이는 difference-of-convex(DC) 문제에 해당한다는 것을 알 수 있다.

본 발명의 알고리즘 수행을 위해 "Joint precoding and multivariate backhaul compression for the downlink of cloud radio access networks," 에서와 같이 concave-convex procedure(CCCP)를 이용할 수 있으며, 구체적인 알고리즘은 생략한다.

[0137] 다운링크 시스템은 아래와 같이 식(28)에 따른 남은 변수의 최적화의 조정과 업링크 통신과 관련된 모든 변수를 조정함으로써 얻어질 수 있다.

$$\{R_{U,k}^{\text{ul}} = 0, \mathbf{V}_{U,k}^{\text{ul}} = \mathbf{0}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{ul}}}, \quad \{R_{R,i}^{\text{ul}} = 0, \mathbf{V}_{R,i}^{\text{ul}} = \mathbf{0}, \Omega_{R,i}^{\text{ul}} = \mathbf{0}\}_{i \in \mathcal{N}_R^{\text{ul}}},$$

$$\{R_{U,k}^{\text{dl}} = 0, \mathbf{V}_{U,k}^{\text{dl}} = \mathbf{0}\}_{k \in \mathcal{N}_U^{\text{dl}}},$$

[0139] 업링크 시스템은 다운링크 통신에의 변수를

$\{R_{R,i}^{dl} = 0, V_{R,i}^{dl} = 0, \Omega_{R,i}^{dl} = 0\}_{i \in \mathcal{N}_R^{dl}}$  와 같이 조정하여 해결할 수 있다.

[0140] 제안된 전이중 작동의 장점을 기존의 반이중 시스템과 비교한 몇 가지 수치결과를 살펴본다. BBU가 cell의 중심에 위치하는 동안, RRHs와 UE의 위치가 측면길이 500m 사각형 내에서 균일한 분포로부터 결정된다고 가정한다.

프론트홀 다운링크의 채널 행렬  $H_{F,i}^{dl}$  는  $H_{F,i}^{dl} = \sqrt{\gamma_i} \tilde{H}_{F,i}^{dl}$  로 모델링 되었다. 여기서 경로손실  $\gamma_i$  은 경로손실지수  $\alpha = 3$  , BBU와 RRH<sub>i</sub> 사이의 거리 및 기준거리를 의미하는  $d_i, d_0$  는 50m 에서,  $\gamma_i = 1/(1+(d_i/d_0)^\alpha)$  로 얻어진다. 인자  $\tilde{H}_{F,i}^{dl}$  는 독립적이고  $\mathcal{CN}(0, 1)$  로 동일하게 분산된다. 채널 행렬의 나머지도 마찬가지로 정의할 수 있다.

[0141] 반이중방식과 전이중 C-RAN 시스템방식의 성능을 다운링크와 업링크 UEs의 달성가능한 최소 전송률 측면에서 비교하였다. 특히 반이중 시스템의 최소전송률성능은 2개의 전송 블록을 통해 평가되었다. 제1 블록 및 제2 블록은 전적으로 다운링크와 업링크 통신에 사용된다. 그리고 최소전송률은 다운링크와 업링크 UEs의 가장 작은 전송률로 얻어진다. 반이중 시스템과의 비교를 위해, 제안된 전이중 시스템 또한 2개의 전송블록을 통해 평가하였다. 그리고 빔포밍 및 압축전략은 두 개의 전송 블록을 통해 연대적으로 최적화 하였다. 이러한 최적화는 각 채널 행렬을 슬롯당 채널 행렬의 블록 대각 행렬로 설정함으로써 문제(28)를 해결할 수 있다. 최대화 식 (28)을 해결하기 위해 CCCP 알고리즘을 수행할 때, 반복하여 convex 문제를 풀어주는 cvx 소프트웨어 툴을 사용하였다.

[0143] 도 3은 본 발명에 따른 평균최저전송률( $R_{min}$ ) 대 프론트홀 링크 및 액세스 링크의 다운링크/업링크의 신호대 잡음비(SNR)에 대한 그래프이다.

[0144] 도 3은 본 발명에 따른 C-RAN 시스템에서  $N_R = 2$  ,  $N_U^{dl} = N_U^{ul} \in \{2, 4\}$  ,  $n_B = 2$  ,  $n_{R,i} = 1$  ,  $n_{U,k}^{dl} = n_{U,k}^{ul} = 1$  의 조건에서 신호대 잡음비(SNR)의 평균 최소전송률을 나타내고 있다. 17.5dB의 SNR에서  $N_U^{dl} = N_U^{ul} = 2$  경우 전이중 방식은 약 50%의 성능향상을 제공한다. 그리고 SNR과의 차이 또한 증가한다.

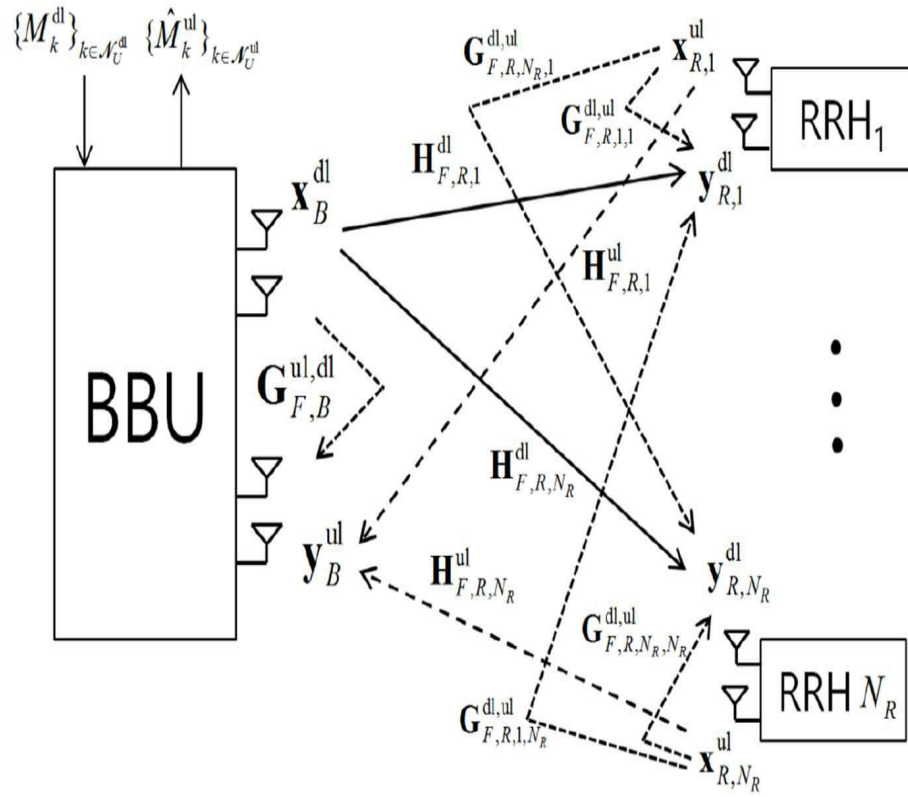
또한  $N_U^{dl} = N_U^{ul} = 2$  ,  $N_U^{dl} = N_U^{ul} = 4$  , 의 경우를 비교할 때, (28f) 와 (28g)의 제약조건의 수가 증가되었기 때문에, UEs 수의 증가가 최소 전송률 성능의 손실을 야기했다는 것이 관찰되었다.

[0146] 이상에서 본 발명의 대표적인 실시예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

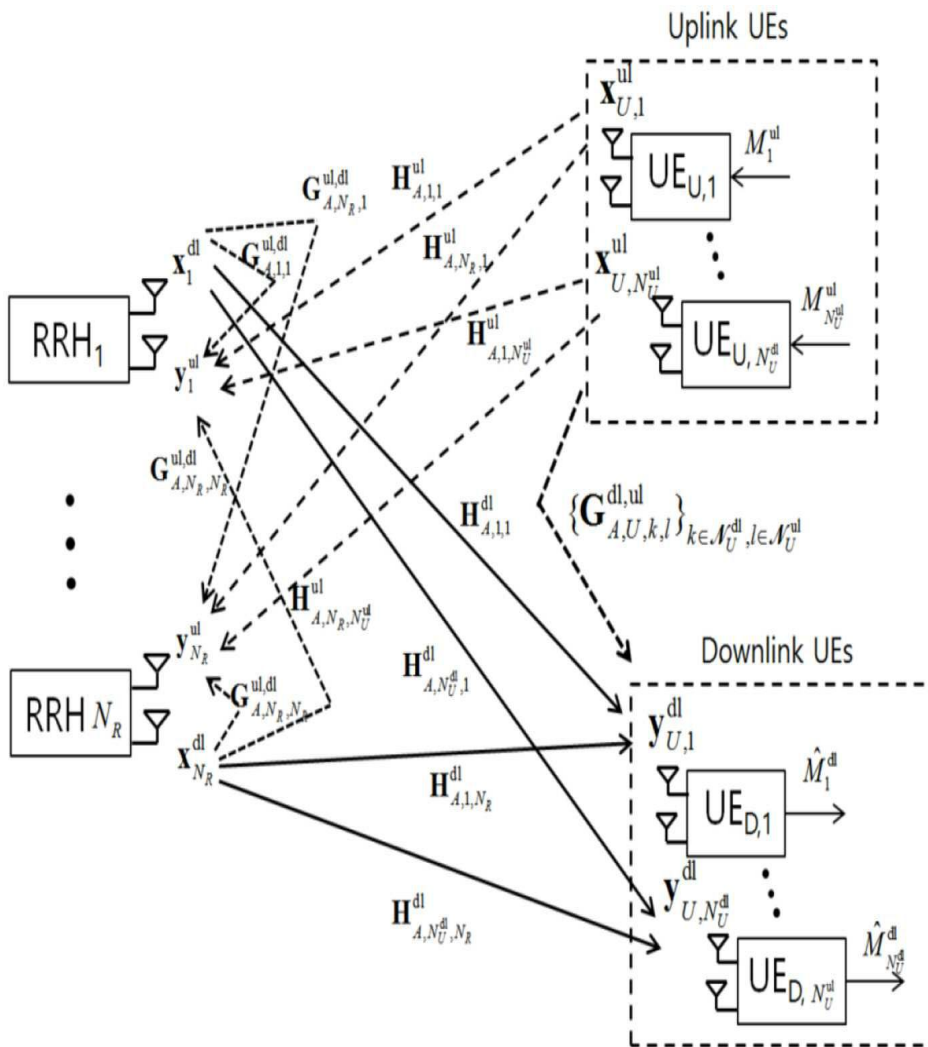
### 부호의 설명

도면

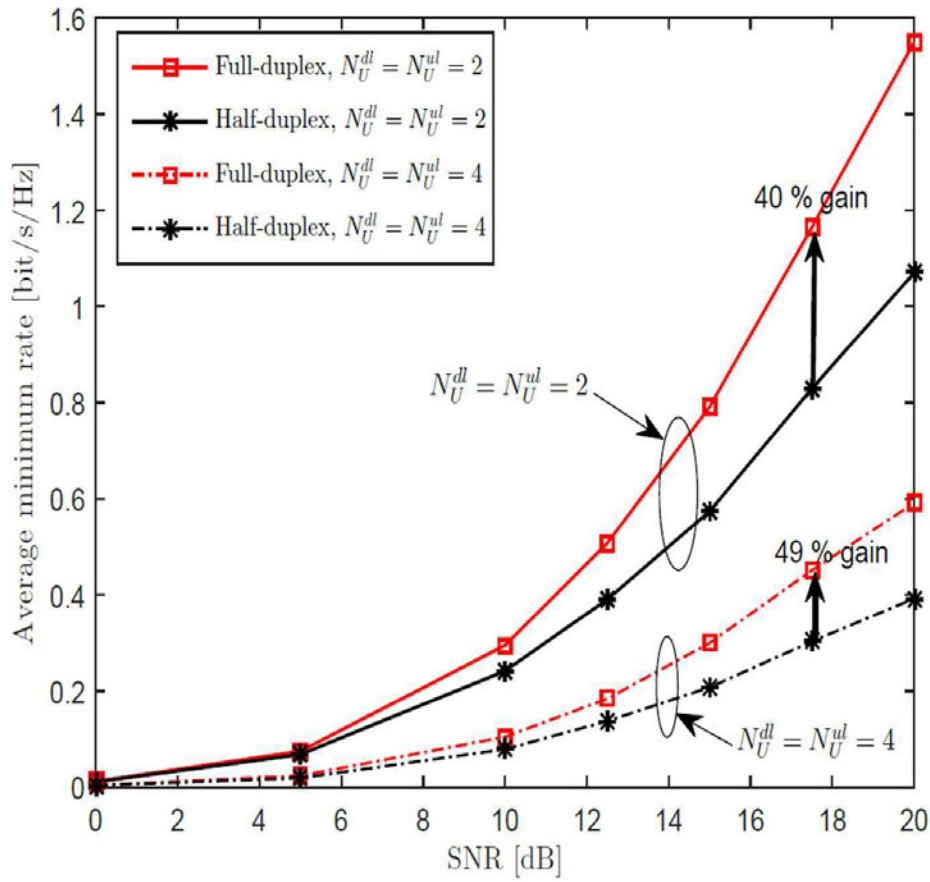
도면1



도면2



도면3



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 5항

【변경전】

상기 최대화 단계는

【변경후】

상기 최대화하는 것은