



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월13일
 (11) 등록번호 10-1831618
 (24) 등록일자 2018년02월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H04B 7/02 (2018.01) H04B 7/04 (2017.01)
 H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/155 (2006.01)
 H04B 7/26 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 H04B 7/026 (2013.01)
 H04B 7/0452 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2017-0013686
 (22) 출원일자 2017년01월31일
 심사청구일자 2017년01월31일
 (65) 공개번호 10-2017-0113030
 (43) 공개일자 2017년10월12일
 (30) 우선권주장
 1020160036597 2016년03월28일 대한민국(KR)
 (56) 선행기술조사문헌
 Mugen Peng et al., "Fronthaul-constrained
 cloud radio access networks: insights and
 challenges", IEEE Wireless
 Communications(2015.04.29.)*
 (뒷면에 계속)

(73) 특허권자
 한밭대학교 산학협력단
 대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
 (72) 발명자
 이경재
 [Redacted]
 박석환
 [Redacted]
 송창익
 [Redacted]
 (74) 대리인
 특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 5 항

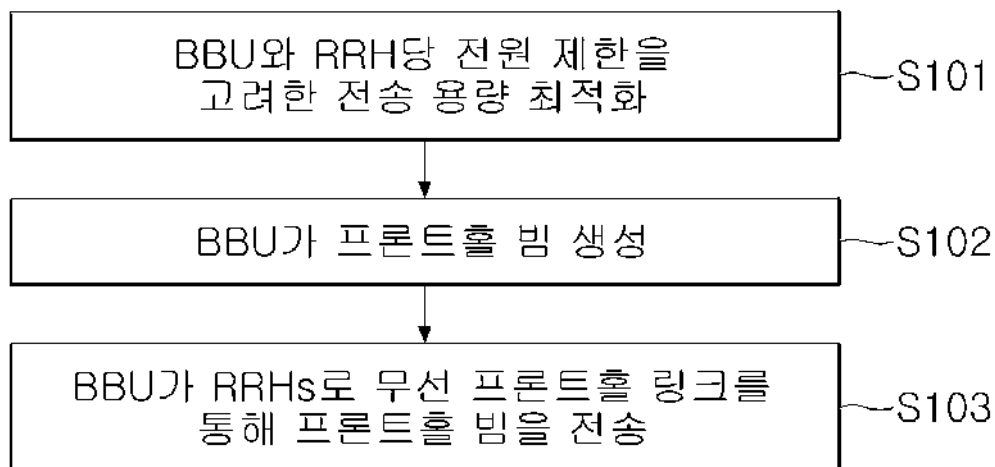
심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 **무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법 및 시스템**

(57) 요약

본 발명은 무선 프론트홀을 포함하는 cloud radio access network (C-RAN)의 신호 전송 방법 및 그 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 C-RAN의 신호 전송 방법으로 무선 프론트홀 링크 용량 최적화 단계(제 1단계); 상기 BBU(Baseband processing units)가 프론트홀 빔을 생성하는 단계(제 2단계); 및 상기 BBU가 RRH(Remote Radio Heads)로 프론트홀 링크를 통해 프론트홀 빔을 전송하는 단계(제 3단계)를 포함하며, 상기 RRHs와 상기 BBU는 무선 프론트홀 링크로 연결되어 있고, 상기 제 1 단계는 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하여 프론트홀 링크 용량을 최적화할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04B 7/0617 (2013.01)
 H04B 7/15557 (2013.01)
 H04B 7/2609 (2013.01)

(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.)
 S.-H. Park et al., "Joint Design of Fronthaul and Access Links for C-RAN With Wireless Fronthauling", IEEE Signal Processing Letters(2016.09.21.)
 US20160087820 A1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

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
연구기간	2015.11.01 ~ 2016.04.01

명세서

청구범위

청구항 1

무선 프론트홀 링크 용량 최적화 계산 단계;

BBU(Baseband processing units)가 프론트홀 빔을 생성하는 단계; 및

상기 BBU가 RRHs(Remote Radio Heads)로 프론트홀 링크를 통해 프론트홀 빔을 전송하는 단계를 포함하며,

상기 RRHs와 상기 BBU는 무선 프론트홀 링크로 연결되어 있고,

상기 최적화 계산 단계는 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하여 프론트홀 링크 용량을 최적화하는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법으로,

상기 프론트홀 빔을 생성하는 단계는 묶음(Clustered) 빔포밍하는 것으로, 상기 묶음 빔포밍된 출력 신호를 무선 프론트홀 링크를 통해 RRHs에 전송되기에 앞서 양자화되고 압축되는 단계를 포함하며,

상기 최적화 계산 단계는 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)의 변수를 통해 최적화식인 수학식 1을 통해 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법.

수학식 1:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{L}, \Omega \geq 0, \mathbf{C}}{\text{maximize}} \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k f_k(\mathbf{L}, \Omega) & \text{(a)} \\
 & \text{s.t. } C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), i \in \mathcal{N}_R, & \text{(b)} \\
 & g_i(\mathbf{L}, \Omega) \leq C_i, i \in \mathcal{N}_R, & \text{(c)} \\
 & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger) \leq P_B, & \text{(d)} \\
 & \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \text{tr}(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^\dagger \mathbf{E}_i) + \text{tr}(\Omega_i) \leq P_{R,i}, i \in \mathcal{N}_R. & \text{(e)}
 \end{aligned}$$

(여기서, w_k 는 각 UE의 수신신호, \mathcal{N}_U 는 사용자의 집합, \mathcal{N}_R 은 다중 안테나 RRH의 집합, C_i 는 프론트홀 용량, P_B 는 BBU의 송신전력 조건, $P_{R,i}$ 는 RRHi의 송신전력 조건, Ω_i 는 양자화 공분산 행렬, 행렬 \mathbf{E}_i 는 $\mathbf{E}_i = [0_{n_{R,i} \times n_{R,i}} \dots 0_{n_{R,i-1} \times n_{R,i}} \mathbf{I}_{n_{R,i}} 0_{n_{R,i+1} \times n_{R,i}} \dots 0_{n_{R,M} \times n_{R,i}}]^\mathbf{H}$ 이고, $f_k(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 k번째 사용자의 데이터 용량, $f_{\text{front},i}(\bar{\mathbf{V}})$ 는 BBU와 i번째 RRH간에 통신 가능한 프론트홀 링크 용량, $g_i(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 BBU에서 수행된 묶음 빔포밍 출력 신호 중 i번째 RRH에 전달될 신호의 압축 정보를 표현하기 위한 정보량을 나타낸다.)

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

최적화 단계의 수학식 1의 계산은 DC(difference-of-convex) 프로그래밍 방법에 의해 이루어지는 것을 특징으로

하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법.

청구항 6

제1항 또는 제5항에 있어서,

각각의 RRH가 양자화되고 압축된 신호를 복구하고 다운링크 채널로 전송하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법.

청구항 7

BBU와 RRH당 전원 제한을 고려한 전송 용량 최적화를 계산하고, 프론트홀 빔을 생성하는 BBU; 및

상기 BBU가 프론트홀 링크를 통해 전송한 프론트홀 빔을 전송받는 RRHs를 포함하며,

상기 RRHs(Remote Radio Heads)와 상기 BBU(Baseband processing units)는 무선 프론트홀 링크로 연결되어 있고,

상기 최적화는 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하여 프론트홀 링크 용량을 최적화하는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템으로,

상기 BBU가 프론트홀 빔을 생성할 때 묶음 빔포밍하는 것으로, 상기 BBU가 상기 묶음 빔포밍된 출력 신호를 무선 프론트홀 링크를 통해 RRHs에 전송되기에 앞서 양자화하고 압축하며,

상기 최적화는 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)의 변수를 통해 최적화식인 수학식 1을 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템.

수학식 1:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{L}, \Omega \geq 0, \mathbf{C}}{\text{maximize}} && \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k f_k(\mathbf{L}, \Omega) && \text{(a)} \\
 & \text{s.t.} && C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), i \in \mathcal{N}_R, && \text{(b)} \\
 & && g_i(\mathbf{L}, \Omega) \leq C_i, i \in \mathcal{N}_R, && \text{(c)} \\
 & && \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger) \leq P_B, && \text{(d)} \\
 & && \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \text{tr}(\mathbf{E}_k^\dagger \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^\dagger \mathbf{E}_k) + \text{tr}(\Omega_i) \leq P_{R,i}, i \in \mathcal{N}_R. && \text{(e)}
 \end{aligned}$$

(여기서, w_k 는 각 UE의 수신신호, \mathcal{N}_U 는 사용자의 집합, \mathcal{N}_R 은 다중 안테나 RRH의 집합, C_i 는 프론트홀 용량, P_B 는 BBU의 송신전력 조건, $P_{R,i}$ 는 RRHi의 송신전력 조건, Ω_i 는 양자화 공분산 행렬, 행렬 $\mathbf{E}_i = [0_{r_{B,i} \times r_{B,i}}^H \dots 0_{r_{B,i-1} \times r_{B,i}}^H \mathbf{I}_{r_{B,i}} 0_{r_{B,i+1} \times r_{B,i}}^H \dots 0_{r_{B,M} \times r_{B,i}}^H]^H$ 이고, $f_k(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 k번째 사용자의 데이터 용량, $f_{\text{front},i}(\bar{\mathbf{V}})$ 는 BBU와 i번째 RRH간에 통신 가능한 프론트홀 링크 용량, $g_i(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 BBU에서 수행된 묶음 빔포밍 출력 신호 중 i번째 RRH에 전달될 신호의 압축 정보를 표현하기 위한 정보량을 나타낸다.)

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제7항에 있어서,

최적화 계산부의 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하는 과정은 DC(difference-of-convex) 프로그래밍 방법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템.

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 기저밴드처리부(BBU)와 다수의 사용자 장비(UEs)가 통신하기 위하여 프론트홀 링크를 무선으로 연결해 다수의 원격 라디오 헤드(RRHs)를 컨트롤 하는 시스템의 전송 효율 개선하여 데이터 부하를 효과적으로 처리할 수 있도록 하는 무선 프론트홀 C-RAN 시스템 및 신호 전송 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 이동통신 환경은 4세대 통신 기술로 불리는 LTE-A 등의 기술이 주도하고 있으며 이로 인해 스마트폰 등의 무선 단말로 고용량의 데이터를 주고받는 것이 가능해 졌다. 하지만 빠른 속도로 많은 수요자들이 더 큰 용량의 데이터를 주고받고, 더 빠른 속도로 통신하면서 데이터 트래픽 양의 급속한 증대를 가져왔고, 이로 인해 주파수 자원의 활용도를 높이는 것이 시급한 과제이며, 이를 위한 다양한 시도가 진행되고 있다.

[0003] 이렇게 대용량 통신이 가능해진 지금도 더 빠르고, 더 큰 용량을 주고받을 수 있는 통신망을 원하는 수요가 생겼고, 이를 만족시키기 위해 5세대(5G) 통신기술이 개발되고 있다.

[0004] 그 중에서도 Cloud radio access network (C-RAN)은 자본 및 운영비용을 줄이고, 간섭 관리 능력의 방법으로 높은 스펙트럼 효율을 제공할 수 있는 잠재적 장점 때문에 5세대 무선 시스템에서 촉망받는 구조이다. 특히 간섭관리 능력으로 높은 스펙트럼 효율을 제공하는 것은 다수의 RRHs(remote radio heads)에 처리하던 기저밴드 처리 기능을 프론트홀 링크를 통해 기저밴드처리부(BBU)에 넘겨 달성될 수 있다. 하지만, 프론트홀 링크는 양자화된 IQ신호의 높은 Bit rate 요건으로 인해 시스템에 병목현상을 일으킬 수 있는 것으로 보고 되어왔다. 전통적으로, 백홀 또는 프론트홀은 종래에는 무한 또는 고정 용량의 유선 디지털 링크로 묘사되어왔고 이를 이용해 신호의 전송 효율을 높이기 위한 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 기존의 유선으로 연결되던 C-RAN의 프론트홀을 무선으로 연결하는 프론트홀로 대체하면서 장비간의 연결 방식의 최적화 될 수 있는 값을 계산하여 이를 무선 신호로 전송하여 기존의 방식에 따라 발생하던 셀간 간섭현상을 조절할 수 있는 능력을 향상 시키고, 급증하는 데이터 전송량을 감당할 수 있게 하기 위하여 주파수자원을 효율성 있게 사용하도록 하는 전송효율을 높일 수 있는 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 전송 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 방법에 있어서,

[0007] 무선 프론트홀 링크 용량 최적화 단계; 상기 BBU(Baseband processing units)가 프론트홀 빔을 생성하는 단계; 및 상기 BBU가 RRH(Remote Radio Heads)로 프론트홀 링크를 통해 프론트홀 빔을 전송하는 단계를 포함하며, 상기 RRHs와 상기 BBU는 무선 프론트홀 링크로 연결되어 있고, 상기 최적화 단계는 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하여 프론트홀 링크 용량을 최적화하는 것일 수 있

다.

[0008] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 프론트홀 빔을 생성하는 단계는 묶음(Clustered) 빔포밍하는 것일 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 묶음 빔포밍된 출력 신호를 무선 프론트홀 링크를 통해 RRHs에 전송되기 전에 앞서 양자화되고 압축되는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 최적화 계산 단계는 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)의 변수를 통해 최적화식인 수학식 1을 통해 계산하는 것일 수 있다.

[0011] 수학식 1:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{L}, \Omega \geq 0, \mathbf{C}}{\text{maximize}} \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k f_k(\mathbf{L}, \Omega) & (a) \\
 & \text{s.t. } C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), i \in \mathcal{N}_R, & (b) \\
 & g_i(\mathbf{L}, \Omega) \leq C_i, i \in \mathcal{N}_R, & (c) \\
 & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^H) \leq P_B, & (d) \\
 & \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \text{tr}(\mathbf{E}_i^H \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^H \mathbf{E}_i) + \text{tr}(\Omega_i) \leq P_{R,i}, i \in \mathcal{N}_R. & (e)
 \end{aligned}$$

[0012] (여기서, w_k 는 각 UE의 수신신호, \mathcal{N}_U 는 사용자의 집합, \mathcal{N}_R 은 다중 안테나 RRH의 집합, C_i 는 프론트홀 용량, P_B 는 BBU의 송신전력 조건, $P_{R,i}$ 는 RRHi의 송신전력 조건, Ω_i 는 양자화 공분산 행렬, 행렬 $\mathbf{E}_i = [0_{n_{R,i} \times n_{R,i}}^H \dots 0_{n_{R,i-1} \times n_{R,i-1}}^H \mathbf{I}_{n_{R,i}} 0_{n_{R,i+1} \times n_{R,i+1}}^H \dots 0_{n_{R,M} \times n_{R,M}}^H]^H$ 이고, $f_k(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 k번째 사용자의 데이터 용량, $f_{\text{front},i}(\bar{\mathbf{V}})$ 는 BBU와 i번째 RRH간에 통신 가능한 프론트홀 링크 용량, $g_i(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 BBU에서 수행된 묶음 빔포밍 출력 신호 중 i번째 RRH에 전달될 신호의 압축 정보를 표현하기 위한 정보량을 나타낸다.)

[0014] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 최적화 단계의 수학식 1의 계산은 DC(difference-of-convex) 프로그래밍 방법에 의해 이루어지는 것일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 각각의 RRH가 양자화되고 압축된 신호를 복구하고 다운링크 채널로 전송하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0016] 상기한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN 신호 전송 시스템에 있어서,

[0017] BBU와 RRH당 전원 제한을 고려한 전송 용량 최적화 계산을 하고, 프론트홀 빔을 생성하는 BBU; 및 상기 BBU가 프론트홀 링크를 통해 전송한 프론트홀 빔을 전송받는 RRHs를 포함하며, 상기 RRHs(Remote Radio Heads)와 상기 BBU(Baseband processing units)는 무선 프론트홀 링크로 연결되어 있고, 상기 최적화 계산부는 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하여 프론트홀 링크 용량을 최적화하는 것일 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 BBU가 프론트홀 빔을 생성할 때 묶음 빔포밍하는 것일 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 BBU가 상기 묶음 빔포밍된 출력 신호를 무선 프론트홀 링크를 통해 RRHs에 전송되기에 앞서 양자화하고 압축하는 것일 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 최적화 계산부는 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)의 변수를 통해 최적화식인 수학식 1을 계산하는 것일 수 있다.

[0021] 수학적 식 1:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{L}, \Omega \geq 0, \mathbf{C}}{\text{maximize}} \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k f_k(\mathbf{L}, \Omega) & \text{(a)} \\
 & \text{s.t. } C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), i \in \mathcal{N}_R, & \text{(b)} \\
 & g_i(\mathbf{L}, \Omega) \leq C_i, i \in \mathcal{N}_R, & \text{(c)} \\
 & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger) \leq P_B, & \text{(d)} \\
 & \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \text{tr}(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^\dagger \mathbf{E}_i) + \text{tr}(\Omega_i) \leq P_{R,i}, i \in \mathcal{N}_R. & \text{(e)}
 \end{aligned}$$

[0022]

[0023] (여기서, w_k 는 각 UE의 수신신호, \mathcal{N}_U 는 사용자의 집합, \mathcal{N}_R 은 다중 안테나 RRH의 집합, C_i 는 프론트홀 용량, P_B 는 BBU의 송신전력 조건, $P_{R,i}$ 는 RRHi의 송신전력 조건, Ω_i 는 양자화 공분산 행렬, 행렬 \mathbf{E}_i 는 $\mathbf{E}_i = [0_{r_{\text{RF}} \times r_{\text{RF}}} \cdots 0_{r_{\text{RF}}-1 \times r_{\text{RF}}} \mathbf{I}_{r_{\text{RF}}} 0_{r_{\text{RF}}+1 \times r_{\text{RF}}} \cdots 0_{r_{\text{RF}} \times r_{\text{RF}}}]^H$ 이고, $f_k(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 k번째 사용자의 데이터 용량, $f_{\text{front},i}(\bar{\mathbf{V}})$ 는 BBU와 i번째 RRH간에 통신 가능한 프론트홀 링크 용량, $g_i(\mathbf{L}, \Omega)$ 는 BBU에서 수행된 묶음 빔포밍 출력 신호 중 i번째 RRH에 전달될 신호의 압축 정보를 표현하기 위한 정보량을 나타낸다.)

[0024] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 상기 최적화 계산부의 BBU와 RRH당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(The weighted sum rate)을 극대화하는 과정은 DC(difference-of-convex) 프로그래밍 방법에 의해 이루어지는 것일 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, 각각의 RRH가 양자화되고 압축된 신호를 복구하고 다운링크 채널로 전송하는 것일 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시 예에 따르면, BBU와 RRH당 전력 제한을 고려한 무선 프론트홀 링크 최적화 계산을 수행하는 최적화 계산부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따르면 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN의 신호 전송 방법은, BBU와 RRH당 전원 제한을 고려해 무선 프론트홀 전송망의 최적화를 통한 DCF 기반의 협력 방식이 SNRs $P_B = P_{R,i}$ 가 충분히 클 때 N_R RRH의 공동 처리에 의한 이익에서 DF 기반의 단일셀 방식보다 셀간 간섭을 줄일 수 있었고, 통신망의 전송효율도 향상시키게 되는 결과를 도출한다.

도면의 간단한 설명

[0028] 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 발명의 실시예에 따른 무선 프론트홀 링크를 포함하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 무선 프론트홀 링크에 묶음 프론트홀 빔을 전송하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 무선 프론트홀 링크에 압축, 양자화한 묶음 프론트홀 빔을 전송하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 무선 프론트홀 링크를 이용한 C-RAN 전송 시스템이다.
- 도 5는 본 발명의 최적화 단계에서 계산과정의 흐름도이다.
- 도 6은 본 발명의 최적화 단계에서 DC 프로그래밍 방법을 이용한 계산과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 7은 본 발명의 최적화 단계에서 DC 프로그래밍 방법을 볼록함 차이를 생성하는 변수로 바꿔 계산하는 계산과정을 나타낸 흐름도이다.
- 도 8은 본 발명에 따른 무선 프론트홀을 포함하는 C-RAN의 신호 전송시 기존의 C-RAN과의 성능을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시 예들을 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.
- [0030] 이하의 실시 예는 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.
- [0031] 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.
- [0032] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 무선 프론트홀 링크를 포함하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, S101 단계에서, BBU(Baseband processing Unit)와 RRH(Remote Radio Head)당 전력 제한을 고려한 전송 용량의 최적화를 수행할 수 있다. 상기 최적화는 최적화 계산부가 수행할 수 있다. 상기 전송 용량은 한정된 주파수 자원을 이용해 정보를 전송하기 때문에, 전송 할 수 있는 정보의 용량을 포함하는 개념일 수 있다.
- [0035] 상기 BBU는 통신 시스템에서 모듈식 설계, 고집적도, 낮은 전력 소모, 쉬운 전개와 장점을 가질 수 있다. 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 제어를 포함할 수 있다. 상기 BBU는 최적화 계산부를 포함할 수 있다.
- [0036] 상기 RRH는 원격 무선 통신을 수행할 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU가 신호를 전송할 때, 전송기 또는 수신기의 역할을 할 수 있다.
- [0037] 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.
- [0038] S102 단계에서, 상기 BBU는 프론트홀 빔을 형성할 수 있다. 상기 빔 형성(Beamforming)은 전파를 원하는 때에 원하는 특정 방향으로만 방사/수신되는 지향성을 가지는 전파 빔을 만들어 내는 것을 의미할 수 있다.
- [0039] S103 단계에서, 상기RRH로 프론트홀 빔을 전송할 수 있다. 이때, 상기 프론트홀 빔은 원하는 RRH를 향해서만 방사될 수 있고, 원하는 RRH는 이득이 가장 높은 RRH일 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU로부터 프론트홀 빔을 수신해 정보를 UE(User Equipment)로 전송할 수 있다. 상기 UE는 사용자 단말로 스마트폰, 스마트 패드, 태블릿 PC 등의 휴대 단말을 포함할 수 있고, 이에 한정되지 않고 다양한 통신 수단을 포함할 수 있다. 상기 프론트홀 빔을 전송하는 프론트홀 링크는 무선으로 연결될 수 있다.
- [0040] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 무선 프론트홀 링크에 묶음 프론트홀 빔(clustered fronthaul beam)을 전송하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- [0041] 도 2를 참조하면, S201 단계에서, BBU(Baseband processing Unit)와 RRH(Remote Radio Head)당 전력 제한을 고려한 전송 용량의 최적화를 수행할 수 있다. 상기 최적화는 최적화 계산부가 수행할 수 있다. 상기 전송 용량은 한정된 주파수 자원을 이용해 정보를 전송하기 때문에, 전송 할 수 있는 정보의 용량을 포함하는 개념일 수 있다.
- [0042] 상기 BBU는 통신 시스템에서 모듈식 설계, 고집적도, 낮은 전력 소모, 쉬운 전개와 장점을 가질 수 있다. 상기 BBU는 기저대역전송(Baseband Transmission)에 이용될 수 있다. 상기 BBU는 전송하려는 정보 또는 신호를 변조

하여 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 제어를 포함할 수 있다. 상기 BBU는 최적화 계산부를 포함할 수 있다.

- [0043] 상기 RRH는 원격 무선 통신을 수행할 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU가 신호를 전송할 때, 전송기 또는 수신기의 역할을 할 수 있다.
- [0044] 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.
- [0045] S202 단계에서, 상기 BBU는 묶음(Clustered) 프론트홀 빔을 형성할 수 있다. 상기 빔 형성(Beamforming)은 전파를 원하는 때에 원하는 특정 방향으로만 방사/수신되는 지향성을 가지는 전파 빔을 만들어 내는 것을 의미할 수 있다. 상기 BBU는 묶음(Clustered) 프론트홀 빔은 기존의 DF(Decode and Forward) 전략으로는 달성할 수 없는 매크로-다이버시티(Macro-Diversity)를 달성할 수 있다. 상세한 내용은 후술한다.
- [0046] S203 단계에서, 상기 RRH로 프론트홀 빔을 전송할 수 있다. 이때, 상기 프론트홀 빔은 원하는 RRH를 향해서만 방사될 수 있고, 원하는 RRH는 이득이 가장 높은 RRH일 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU로부터 프론트홀 빔을 수신해 정보를 UE(User Equipment)로 전송할 수 있다. 상기 UE는 사용자 단말로 스마트폰, 스마트패드, 태블릿 PC 등의 휴대 단말을 포함할 수 있고, 이에 한정되지 않고 다양한 통신 수단을 포함할 수 있다. 상기 프론트홀 빔을 전송하는 프론트홀 링크는 무선으로 연결될 수 있다.
- [0047] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 무선 프론트홀 링크에 압축, 양자화한 묶음 프론트홀 빔을 전송하는 C-RAN의 신호 전송 방법의 흐름도이다.
- [0048] 도 3을 참조하면, S301 단계에서, BBU(Baseband processing Unit)와 RRH(Remote Radio Head)당 전력 제한을 고려한 전송 용량의 최적화를 수행할 수 있다. 상기 최적화는 최적화 계산부가 수행할 수 있다. 상기 전송 용량은 한정된 주파수 자원을 이용해 정보를 전송하기 때문에, 전송 할 수 있는 정보의 용량을 포함하는 개념일 수 있다.
- [0049] 상기 BBU는 통신 시스템에서 모듈식 설계, 고집적도, 낮은 전력 소모, 쉬운 전개와 장점을 가질 수 있다. 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 제어를 포함할 수 있다. 상기 BBU는 최적화 계산부를 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 RRH는 원격 무선 통신을 수행할 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU가 신호를 전송할 때, 전송기 또는 수신기의 역할을 할 수 있다.
- [0051] 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.
- [0052] S302 단계에서, 상기 BBU는 묶음(Clustered) 프론트홀 빔을 형성할 수 있다. 상기 빔 형성(Beamforming)은 전파를 원하는 때에 원하는 특정 방향으로만 방사/수신되는 지향성을 가지는 전파 빔을 만들어 내는 것을 의미할 수 있다. 상기 BBU는 묶음(Clustered) 프론트홀 빔은 기존의 DF(Decode and Forward) 전략으로는 달성할 수 없는 매크로-다이버시티(Macro-Diversity)를 달성할 수 있다. 상세한 내용은 후술한다.
- [0053] S303 단계에서, 상기 묶음 프론트홀 빔을 양자화 및 압축할 수 있다. 상기 BBU는 선형적으로 프리코딩된 상기 묶음 프론트홀 빔을 양자화 및 압축할 수 있다. 양자화 및 압축을 통해 전송할 정보의 크기를 줄여 같은 용량 내에서 더 많은 정보를 송수신할 수 있다.
- [0054] S304 단계에서, 상기 RRH로 프론트홀 빔을 전송할 수 있다. 이때, 상기 프론트홀 빔은 원하는 RRH를 향해서만 방사될 수 있고, 원하는 RRH는 이득이 가장 높은 RRH일 수 있다. 상기 RRH는 상기 BBU로부터 프론트홀 빔을 수신해 정보를 UE(User Equipment)로 전송할 수 있다. 상기 UE는 사용자 단말로 스마트폰, 스마트패드, 태블릿 PC 등의 휴대 단말을 포함할 수 있고, 이에 한정되지 않고 다양한 통신 수단을 포함할 수 있다. 상기 프론트홀 빔을 전송하는 프론트홀 링크는 무선으로 연결될 수 있다.
- [0055] S305 단계에서, 상기 묶음 프론트홀 빔을 수신한 RRH는 양자화되고 압축된 신호를 복구하고, 다운링크 채널로 전송할 수 있다. 상기 다운링크 채널을 통해 상기 정보를 전송 받을 각각의 UE에 정보를 전송할 수 있다. 상기

RRH는 무선 통신 기능을 수행할 수 있다.

[0056] 도 4는 본 발명의 무선 프론트홀 링크를 이용한 C-RAN 전송 시스템의 블록도다.

[0057] 도 4를 참조하면, 무선 프론트홀 링크를 이용한 C-RAN 전송 시스템은 BBU(401)를 포함할 수 있다.

[0058] 상기 BBU(401)는 정보를 신호화해 신호를 생성할 수 있다. 상기 BBU(401)는 상기 신호를 전송하기 위해 프론트홀 빔을 생성할 수 있다. 상기 BBU(401)는 상기 신호를 전송하기 위해 묶음 프론트홀 빔을 생성할 수 있다. 상기 BBU(401)는 RRH(403)로 신호를 전송하기 전에 전송 조건을 최적화 할 수 있는 조건을 계산할 수 있다. 상기 BBU(401)는 상기 묶음 프론트홀 빔을 양자화 및 압축할 수 있다. 상기 양자화 및 압축된 묶음 프론트홀 빔은 무선 프론트홀 링크를 통해 RRH(403)로 전송될 수 있다.

[0059] 무선 프론트홀 링크를 이용한 C-RAN 전송 시스템은 최적화계산부(402)를 포함할 수 있다. 상기 최적화계산부(402)는 상기 BBU(401)의 내부에 포함되는 부분일 수 있다. 즉 상기 최적화계산부(402)가 없이 상기 BBU(401)가 최적화를 위한 조건을 계산하는 것일 수 있다.

[0060] 무선 프론트홀 링크를 이용한 C-RAN 전송 시스템은 RRH(403)를 포함할 수 있다. 상기 RRH(403)는 복수로 구성될 수 있다. 상기 RRH(403)는 상기 BBU(401)과 무선으로 연결될 수 있다. 상기 RRH(403)는 BBU에서 무선 프론트홀 링크를 통해 프론트홀 빔을 수신하면 이를 복호화해 UE로 전송할 수 있다.

[0061] 본 발명의 C-RAN 전송 시스템은 신호를 수신하고, 묶음 빔포밍을 수행하고 묶음 프론트홀 빔을 양자화하고 압축하는 BBU(401), 상기 묶음 프론트홀 빔과 압축 전략을 변수로하여 무선 프론트홀 링크의 최적화를 계산하는 최적화 계산부(402), 및 최적화된 무선 프론트홀 링크를 통해 상기 BBU(401)로부터 양자화되고 압축된 묶음 프론트홀 빔을 수신해 양자화 및 압축을 복구하여 다운링크 채널로 전송하는 RRHs(403)로 구성될 수 있다.

[0062] 본 발명은 프론트홀 무선 네트워크 고려하기 때문에 프론트홀 링크 용량도 프론트홀 링크가 고정 용량을 갖는 것으로 가정되는 기존 기술과 달리 최적화 공간에 포함된다. DF(decode and forward)방식과 DCF(decompress and forward)방식에서, 본 발명은 BBU(401)와 RRH(403)의 작동을 공동으로 최적화하기 위해 상기 BBU(401)와 상기 RRH(403)당 파워 제한을 요건으로 하는 UEs의 가중합률(weighted sum of rate)을 극대화하는 것을 문제로 한다. 본 발명은 DC(difference-of-convex) 프로그래밍 방법에 기반한 반복 알고리즘을 이용해 프론트홀 링크 용량의 최적화를 계산하고, 수치적 결과를 통해 프론트홀 과 접근링크의 SNR이 충분히 클 때 DCF 기반의 협력 방식이 DF기반의 단일 셀 방식보다 70.3% 좋은 성능을 보인다.

[0063] BBU(401)가 무선 프론트홀 링크를 통해 N_R (multi-antenna RRHs의 수)를 컨트롤하여 N_U (multi-antenna UEs의 수)에 독립적인 메시지를 보내는 C-RAN의 다운링크를 고려하면, 이때 BBU(401), RRH $_i$ (i번째 RRH), UE $_k$ (k번째 UE)가 각각 $n_B, n_{R,i}, n_{U,k}$ 안테나를 사용하고 상기, RRHs(403) 안테나의 총 수가 $n_R \triangleq \sum_{i \in \mathcal{N}_R} n_{R,i}$ 로 정의되고, 상기 RRHs(403)와 상기 UEs의 집합이 각각 $\mathcal{N}_R \triangleq \{1, \dots, N_R\}$, $\mathcal{N}_U \triangleq \{1, \dots, N_U\}$ 로 표시된다고 가정하면 상기 BBU의 n은 부호화 블록 길이로 충분히 큰 것으로 가정되고, R_k 는 M_k 의 메시지 빈도일 때, 먼저 $k \in \mathcal{N}_U$ 일 때 UE k와 통신하기 위한 독립 메시지 $M_k \in \{1, \dots, 2^{nR_k}\}$ 를 생성한다. 본 발명은 프론트홀과 접근링크가 주파수 또는 시간 도메인에서 분리되어 있다고 가정한다, 그래서 양자는 간섭하지 않는다.

[0064] 간섭성 프론트홀 네트워크에서는, BBU(401)에서 RRHs(403)로의 무선 통신은 동일 주파수/시간 자원에서만 일어난다고 가정된다. i번째 RRH(403)에서 수신하는 신호 $y_{R,i} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$ 는 다음 수학적 식 1 같다

[0065] [수학적 식 1]

[0066]
$$y_{R,i} = H_i x_B + z_{R,i},$$

[0067] 이때 $x_B \in \mathbb{C}^{n_B \times 1}$ 는 BBU(401)에 의해 전송되는 신호이고, $H_i \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times n_B}$ 는 BBU(401)로부터 RRH $_i$ 로의 채널 응답 행렬을 나타내고, $z_{R,i} \sim \mathcal{CN}(0, \Sigma_{z_{R,i}})$ 는 RRH $_i$ 에서의 추가적 잡음을 지칭한다. 다른 방법간의 공정한 비교

를 위해 BBU(401)에서의 전송 제한을 $\mathbb{E} \|x_B\|^2 \leq P_B$ 로 부과하고, 각각의 RRH $_i$ 는 수신한 신호 $y_{R,i}$ 를 다

운링크 접근 채널로 전송될 신호 $\mathbf{x}_{R,i} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$ 를 제작하기 위해 처리한다. UEk가 수신하는 신호

$$\mathbf{y}_{U,k} \in \mathbb{C}^{n_{U,k} \times 1} \text{ 는 } \mathbf{y}_{U,k} = \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \mathbf{G}_{k,i} \mathbf{x}_{R,i} + \mathbf{z}_{U,k}, \text{ 같이 표시된다.}$$

[0068] 이때 $\mathbf{G}_{k,i} \in \mathbb{C}^{n_{U,k} \times n_{R,i}}$ 는 RRHi에서 UEk로의 채널 행렬을 정의하고, $\mathbf{z}_{U,k} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \Sigma_{\mathbf{z}_{U,k}})$ 는 UEk에서의 추가적 잡음과 동일하다. 이때, $i \in \mathcal{N}_R, k \in \mathcal{N}_U$ 일때, $\Sigma_{\mathbf{z}_{R,i}} = \Sigma_{\mathbf{z}_{U,k}} = \mathbf{I}$ 로 둔다. 그리고 RRH당 전송과워 제한은 $i \in \mathcal{N}_R$ 일 때 $\mathbb{E} \|\mathbf{x}_{R,i}\|^2 \leq P_{R,i}$ 이다. 본 발명은 채널 행렬 $\{\mathbf{H}_i\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ 와 $\{\mathbf{G}_{k,i}\}_{k \in \mathcal{N}_U, i \in \mathcal{N}_R}$ 는 BBU(401)로 보고되고 평가된다. 그러므로 BBU(401)와 RRHs(403)의 작동은 본 발명이 속하는 기술분야의 선행기술을 참조한다.

[0069] 이후부터, 기존의 단일 셀 시스템으로 DF 릴레이로 작동하는 RRHs를 고려해보면, 이를 위해, UEs의 세트 \mathcal{N}_U 는 \mathcal{N}_R 의 분리형 세트, 즉 $\mathcal{N}_{U,1}, \dots, \mathcal{N}_{U,N_R}$ 로 분리되고 이때 모든 $i \neq j \in \mathcal{N}_R$ 에서 $\mathcal{N}_{U,i} \cap \mathcal{N}_{U,j} = \emptyset$ 이고, $\sum_{i \in \mathcal{N}_R} \mathcal{N}_{U,i} = \mathcal{N}_U$ 이다. 이때 UEs의 개별 세트 $\mathcal{N}_{U,i}$ 는 RRH i 에 의해 제공된다. $\mathcal{N}_{U,1}, \dots, \mathcal{N}_{U,N_R}$ 의 분할을 결정하는 일은 일반적으로 셀 연계라고 불린다. 이하에서는 셀 연계가 주어진 후 2단계 작업의 수행에 대해 보면, UEs $\mathcal{N}_{U,i}$ 를 위해 생성된 메시지의 세트 $Q_i \triangleq \{M_k\}_{k \in \mathcal{N}_{U,i}}$ 의 개별 RRHi가 RRH에 의해 제공된다. 이를 위해, BBU가 $\mathbf{d}_i \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ 일때, 부호화된 기저 신호 $\mathbf{d}_i \in \mathbb{C}^{d_{f,i} \times 1}$ 를 얻기위해 메시지 Q_i 를 부호화하고, 그 후 선형 빔포밍 전송신호 생성을 위해 신호 \mathbf{d}_i 에 적용된다.

[0070] $\mathbf{x}_B = \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \mathbf{V}_i \mathbf{d}_i$ 일 때, 신호 \mathbf{d}_i 의 빔포밍 행렬은 $\mathbf{V}_i \in \mathbb{C}^{n_B \times d_{f,i}}$ 로 표시된다. 수신신호 $\mathbf{y}_{R,i}$ 은 다음과 같이 표현된다.

[0071] $\mathbf{y}_{R,i} = \mathbf{H}_i \mathbf{V}_i \mathbf{d}_i + \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{H}_i \mathbf{V}_j \mathbf{d}_j + \mathbf{z}_{R,i}$ 첫번째 항은 수신 RRH가 획득하게 될 수신한 목적 신호를 나타낸다. RRHi가 수신신호 $\mathbf{y}_{R,i}$ 에 기반해 $\{M_k\}_{k \in \mathcal{N}_{U,i}}$ 를 포함하는 메시지 Q_i 를 복호화 한다고 가정하면, 메시지 $\{M_k\}_{k \in \mathcal{N}_{U,i}}$ 의 합비(sum rate) $\sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} R_k$ 는 프론트홀 링크에 다음과 같이 근접하며

$$\sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} R_k \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}) \triangleq I(\mathbf{d}_i; \mathbf{y}_{R,i}) = \Phi \left(\mathcal{T}(\mathbf{H}_i \mathbf{V}_i), \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathcal{T}(\mathbf{H}_i \mathbf{V}_j) + \mathbf{I} \right) \text{ 이때, } \mathcal{T}(\mathbf{X}) \triangleq \mathbf{X} \mathbf{X}^\dagger,$$

$\Phi(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \triangleq \log_2 \det(\mathbf{X} + \mathbf{Y}) - \log_2 \det(\mathbf{Y})$ 로 정의되고, $I(X, Y)$ 는 임의의 변수 X, Y의 상호 정보를 표시한다.

[0072] RRH당 로컬 빔포밍은 RRHi는 $k \in \mathcal{N}_{U,i}$ 일 때, 부호화된 기저 신호 $\mathbf{s}_k \in \mathbb{C}^{d_k \times 1} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ 를 얻기위해 복호화 된 메시지 $\{M_k\}_{k \in \mathcal{N}_{U,i}}$ 에 채널 인코딩을 한다. 그리고 linear 빔포밍을 $\mathbf{x}_{R,i} = \sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} \mathbf{U}_k \mathbf{s}_k$ 으로 적용한다.

이 때, $\mathbf{U}_k \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times d_k}$ 는 UE k의 빔포밍 행렬을 표시한다. 빔포밍 모델 $\mathbf{x}_{R,i} = \sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} \mathbf{U}_k \mathbf{s}_k$ 은 각 UE에 의해 의도된 신호가 하나의 RRH에 의해 방출되기 때문에, 매크로 다이버시티가 이용되지 않는 것으로 규정하는 것에 주의해야 한다. UE k에서 받은 신호 \mathbf{y}^k 는 다음 수학적 식 2와 같다.

[0073] [수학식 2]

$$y_{U,k} = \mathbf{G}_{k,i} \mathbf{U}_k s_k + \mathbf{G}_{k,i} \sum_{l \in \mathcal{N}_{R,i} \setminus \{k\}} \mathbf{U}_l s_l + \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{G}_{k,j} \sum_{l \in \mathcal{N}_{R,j}} \mathbf{U}_l s_l + z_{U,k}.$$

[0074]

[0075] UE k 가 수신신호 수학식 2에 기반해 수학식 2의 첫 번째 항에 포함된 메시지 M_k 를 복호화 한다고 할 때, 메시지 M_k 의 빈도(Rate) R_k 는 다음과 같이 제한된다.

$$R_k \leq f_{\text{access},k}(\mathbf{U}) \triangleq I(s_k; y_{U,k}) = \Phi \left(\mathcal{T}(\mathbf{G}_{k,i} \mathbf{U}_i), \sum_{(j,l) \neq (i,k)} \mathcal{T}(\mathbf{G}_{k,j} \mathbf{U}_l) + \mathbf{I} \right)$$

[0076]

[0077] 본 발명은 BBU와 RRH당 파워 제한을 만족시키면서 가중합률(the weighted sum-rate) $\sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k R_k$ 를 극대화하는 것을 목표로 한다. 이 문제는 수학식 3과 같이 기술된다.

[0078] [수학식 3]

$$\begin{aligned} \underset{\mathbf{V}, \mathbf{U}, \mathbf{R}}{\text{maximize}} \quad & \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k R_k & \text{(a)} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} R_k \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), \quad i \in \mathcal{N}_R, & \text{(b)} \\ & R_k \leq f_{\text{access},k}(\mathbf{U}), \quad k \in \mathcal{N}_U, & \text{(c)} \\ & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger) \leq P_B, & \text{(d)} \\ & \sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} \text{tr}(\mathbf{U}_k \mathbf{U}_k^\dagger) \leq P_{R,i}, \quad i \in \mathcal{N}_R, & \text{(e)} \end{aligned}$$

[0079]

[0080] 수학식 3의 (b)와 (c), (d)와 (e)는 BBU와 RRHs의 전송 전원 제한을 나타낸다. (b), (c)에서의 비볼록성 때문에 수학식 3(a)를 해결하는 것은 어려우므로, 본 발명은 순위 완화에 의해 볼록함 차이 문제를 산출하는 변형된 변수 $\tilde{\mathbf{V}}_i \triangleq \mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger$ 와 $\tilde{\mathbf{U}}_k \triangleq \mathbf{U}_k \mathbf{U}_k^\dagger$ 로 바뀌어서 상기 최적화 식을 푼다. 따라서, 본 발명은 반복 횟수의 측면에서 단조롭게 비 감소 목표 값의 결과 달성을 위해 얻은 문제에 DC 프로그래밍 방법을 적용할 수 있다. 본 발명은 알고리즘의 수렴을 위해 G. Scutari, F. Facchinei, L. Lampariello and P. Song, "Distributed methods for constrained nonconvex multi-agent optimization - Part I: Theory," arXiv:1410.4754, Oct. 2014.을 참고한다.

[0081]

본 발명의 DFC 방식은 RRHs(403)가 기준 C-RAN 구조로 작동하여 BBU(401)가 무선 프론트홀 링크의 RRHs(403)로 전송하기 전에 선형으로 프리코딩된 신호들을 양자화, 압축하고, 각각의 RRH(403)가 양자화된 신호를 회복하고 다운링크 채널로 전송한다고 가정한다. BBU(401)와 RRHs(403)의 자세한 작동은 다음과 같다. 먼저 프론트홀 빔포밍에 대해 설명하면 DF방식의 단일 셀 전송 방식에 나온 DF 전략의 프론트홀 빔포밍과 비슷하게, BBU(401)는 $i \in \mathcal{N}_R$ 일 때 RRHi에 메시지 $U_i \in \{1, \dots, 2^{n C_i}\}$ 를 전송하는 무선 프론트홀 링크의 RRHs(403)의 작동을 관리한다. 여기서 C_i 는 메시지 U_i 의 빈도를 나타내고, 프론트홀 링크가 RRHi에 접속하는 능력으로 여겨질 수도 있다. 선행연구 (S.-H. Park, O. Simeone, O. Sahin and S. Shamai (Shitz), "Joint precoding and multivariate backhaul compression for the downlink of cloud radio access networks," IEEE Trans. Sig. Processing, vol. 61, no. 22, pp. 5646-5658, Nov. 2013.)에 의하면 C_i 는 고정 값이다. 반면에 이 연구에서는 최적화 공간은 또한 아래에 묘사된 프론트홀 빔포밍 전략에 의해 결정되는 프론트홀의 용량 매개변수 $\mathbf{C} \triangleq \{C_i\}_{i \in \mathcal{N}_R}$ 를 포함한다.

[0082]

BBU(401)는 먼저 $d_{f,i}$ 차원의 부호화된 기저신호 $\mathbf{d}_i \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ 를 얻기 위해 개별 메시지 U_i 를 부호화하고,

선형 빔포밍 식에 의해 전송된 신호 \mathbf{x}_B 를 형성한다. 이때 RRH*i*에서 받은 신호 $\mathbf{y}_{R,i}$ 는 상기한

$$\mathbf{y}_{R,i} = \mathbf{H}_i \mathbf{V}_i \mathbf{d}_i + \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{H}_i \mathbf{V}_j \mathbf{d}_j + \mathbf{z}_{R,i},$$

과 같이 쓸 수 있다. RRH*i*가

$$\mathbf{y}_{R,i} = \mathbf{H}_i \mathbf{V}_i \mathbf{d}_i + \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathbf{H}_i \mathbf{V}_j \mathbf{d}_j + \mathbf{z}_{R,i},$$

에 기반해 메시지 U_i 를 복호화 한다고 가정하면, 빈도 C_i 는 조

건이 $C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V})$ 와 같다면 RRH*i*에서 달성 가능하다. 이때 함수 $f_{\text{front},i}(\mathbf{V})$ 는

$$\begin{aligned} \sum_{k \in \mathcal{N}_{U,i}} R_k &\leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}) \triangleq I(\mathbf{d}_i; \mathbf{y}_{R,i}) \\ &= \Phi \left(\mathcal{T}(\mathbf{H}_i \mathbf{V}_i), \sum_{j \in \mathcal{N}_R \setminus \{i\}} \mathcal{T}(\mathbf{H}_i \mathbf{V}_j) + \mathbf{I} \right) \end{aligned}$$

에서 정의된다.

[0083] 프론트홀 빔포밍 \mathbf{V} 와 용량 \mathbf{C} 가 주어지면 본 발명은 메시지 U_i 빔포밍 출력신호의 양자화된 상태를 알 수 있는 시스템 모델을 얻을 수 있다. 상기 BBU(401)는 $k \in \mathcal{N}_{U,i}$ 일 때 부호화된 신호 $\mathbf{s}_k \in \mathbb{C}^{d_k \times 1} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ 를

$$\tilde{\mathbf{x}}_R = \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \mathbf{L}_k \mathbf{s}_k,$$

만들기 위해 메시지 M_k 을 부호화 하고, 와 같이 선형적으로 프리코드된다.

[0084] \mathbf{L}_k 는 신호 \mathbf{s}_k 의 빔포밍 행렬을 나타낸다. 묶음 빔포밍이라고 언급한 선형 빔포밍의 목적은 DF 전략으로는 불가능한 RRHs의 묶음 \mathcal{N}_R 전반에서의 매크로-다이버시티 달성이다. 프론트홀 링크가 유한한 용량 \mathbf{C} 를 가지기 때문에, BBU가 압축지수 U_1, \dots, U_{N_R} 를 얻기위해 프리코드된 신호를 양자화하고 압축한다. 이때, 각각의 지수 $U_i \in \{1, \dots, 2^{n_{C,i}}\}$ 는 신호 $\tilde{\mathbf{x}}_{R,i} \in \mathbb{C}^{n_{R,i} \times 1}$ 의 양자화된 버전 $\mathbf{x}_{R,i}$ 를 가리키고, i 번째 서브벡터와 동일하다. 즉 $\tilde{\mathbf{x}}_R = [\tilde{\mathbf{x}}_{R,1}^\dagger \dots \tilde{\mathbf{x}}_{R,N_R}^\dagger]^\dagger$ 이다. RRH로 이동될 양자화된 신호 $\mathbf{x}_{R,i}$ 는 $\mathbf{x}_{R,i} = \tilde{\mathbf{x}}_{R,i} + \mathbf{q}_i$ 과 같이 모델링 된다고 가정한다.

[0085] 양자화 잡음 \mathbf{q}_i 는 신호 $\mathbf{x}_{R,i}$ 와 독립적이라고 가정되고, $\Omega_i \triangleq \mathbb{E}[\mathbf{q}_i \mathbf{q}_i^\dagger] \succeq \mathbf{0}$. 일 때 $\mathbf{q}_i \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \Omega_i)$ 처럼 나눠진다. 신호 $\tilde{\mathbf{x}}_{R,1}, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_{R,N_R}$ 은 독립적으로 압축된다고 가정하면, 상이한 RRHs의 양자화 잡음 신호 \mathbf{q}_i 와 \mathbf{q}_j 는 연관성이 없다. 즉, $\mathbb{E}[\mathbf{q}_i \mathbf{q}_j^\dagger] = \mathbf{0}$ 이다. 표기의 편의를 위해 $\mathbf{q} \triangleq [\mathbf{q}_1^\dagger \dots \mathbf{q}_{N_R}^\dagger]^\dagger \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \bar{\Omega})$ 라고 정의하고, 공분산 행렬 $\bar{\Omega} \triangleq \text{diag}(\Omega_1, \dots, \Omega_{N_R})$ 이다. 신호 $\mathbf{x}_{R,i}$ 는 RRH에 의해 성공적으로 회복 될 수 있는데,

$$\begin{aligned} g_i(\mathbf{L}, \Omega) &\triangleq I(\tilde{\mathbf{x}}_R; \mathbf{x}_{R,i}) \\ &= \Phi \left(\sum_{k \in \mathcal{N}_U} \mathcal{T}(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{L}_k), \Omega_i \right) \leq C_i \end{aligned}$$

의 조건을 만족해야 한다. 여기서 행렬 $\mathbf{E}_i \in \mathbb{C}^{n_R \times n_{R,i}}$ 는 사이즈가 $n_{R,i}$ 이고, $(\sum_{j=1}^{i-1} n_{R,j} + 1)$ 에서 $(\sum_{j=1}^i n_{R,j})$ 까지의 행을 제외하고는 모두 0값을 가지는 것으로 정의한다.

[0086] 수신신호 $\mathbf{y}_{R,i}$ 로부터 복호화된 지수 U_i 에 기반해 기저신호 $\mathbf{x}_{R,i}$ 을 회복한 뒤에, RRH는 신호 $\mathbf{x}_{R,i}$ 을 고주파로 변환하고, 다운링크 채널로 전송한다. UE k 에서 받은 신호 $\mathbf{y}_{U,k}$ 는

$$\mathbf{y}_{U,k} = \mathbf{G}_k \mathbf{L}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{G}_k \sum_{l \in \mathcal{N}_U \setminus \{k\}} \mathbf{L}_l \mathbf{s}_l + \mathbf{G}_k \mathbf{q} + \mathbf{z}_{U,k}$$

와 같다.

[0087] 이 때, $\mathbf{G}_k \triangleq [\mathbf{G}_{k,1}, \dots, \mathbf{G}_{k,N_R}]$ 는 모든 RRHs에서 UE k 로의 채널 행렬을 나타낸다.

[0088] UE k 가 신호 $\mathbf{y}_{U,k}$ 에 기반해 메시지 M_k 를 복호화 한다고 가정하면,

$$R_k \leq f_k(\mathbf{L}, \Omega) \triangleq I(\mathbf{s}_k; \mathbf{y}_{U,k})$$

$$= \Phi \left(\mathcal{T}(\mathbf{G}_k \mathbf{L}_k), \sum_{l \in \mathcal{N}_U \setminus \{k\}} \mathcal{T}(\mathbf{G}_k \mathbf{L}_l) + \mathbf{G}_k \bar{\Omega} \mathbf{G}_k^\dagger + \mathbf{I} \right)$$

의 조건 만족시 메시지 빈도 R_k 가 달성될 수 있다.

[0089] DCF방식에서의 프론트홀 링크 용량의 최적화를 위한 공식은 수학식 4로 표현된다.

[0090] [수학식 4]

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{V}, \mathbf{L}, \Omega \geq 0, \mathbf{C}}{\text{maximize}} \sum_{k \in \mathcal{N}_U} w_k f_k(\mathbf{L}, \Omega) & \text{(a)} \\ & \text{s.t. } C_i \leq f_{\text{front},i}(\mathbf{V}), i \in \mathcal{N}_R, & \text{(b)} \\ & g_i(\mathbf{L}, \Omega) \leq C_i, i \in \mathcal{N}_R, & \text{(c)} \\ & \sum_{i \in \mathcal{N}_R} \text{tr}(\mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger) \leq P_B, & \text{(d)} \\ & \sum_{k \in \mathcal{N}_U} \text{tr}(\mathbf{E}_i^\dagger \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^\dagger \mathbf{E}_i) + \text{tr}(\Omega_i) \leq P_{R,i}, i \in \mathcal{N}_R. & \text{(e)} \end{aligned}$$

[0091]

[0092] 수학식 4의 (a) 제한 (b), (c) 때문에 블록하지 않다. 문제를 변수 $\bar{\mathbf{V}}_i \triangleq \mathbf{V}_i \mathbf{V}_i^\dagger$ 와 $\bar{\mathbf{L}}_k \triangleq \mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^\dagger$ 의 측면에서 보면, 이것은 다시 DC문제와 순위반복의 문제이다. 따라서 선행연구 G. Scutari, F. Facchinei, L. Lampariello and P. Song, "Distributed methods for constrained nonconvex multi-agent optimization - Part I: Theory," arXiv:1410.4754, Oct. 2014.의 DC 프로그래밍 방법을 목적함수 수학식 4 (a)에 적용할 수 있다. 본 발명은 개별 RRH에서 공동으로 압축된 신호의 다변량 압축방식에 의한 최적화는 선행 연구에서 논한 것과 같이 고정용량 프론트홀 링크에 위치할 수 있다.

[0093] 도 5는 본 발명의 최적화 단계에서 계산과정의 흐름도이다. 도 5에 따르면 상기 방법에서의 문제 정의와 최적화 단계는 현재 시스템의 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)을 설정하는 단계(S51); 수학식 4의 조건에 현재 시스템의 L, V, Ω 값을 대입하는 단계(S52); 및 상기 수학식 4을 계산해 가중합률을 극대화하는 단계(S53);로 구성된다.

[0094] 도 6은 본 발명의 최적화 단계에서 DC 프로그래밍 방법을 이용한 계산과정을 나타낸 흐름도이다. 도 6에 따르면 상기 방법에서의 문제 정의와 최적화 단계는 현재 시스템의 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)을 설정하는 단계(S61); 수학식 4의 조건에 현재 시스템의 L, V, Ω 값을 대입하는 단계 (S62); 및 DC 프로그래밍 방법으로 수학식 4을 계산해 가중합률을 극대화하는 단계(S63);로 구성된다.

[0095] 도 7은 본 발명의 최적화 단계에서 DC 프로그래밍 방법을 블록함 차이를 생성하는 변수로 바꿔 계산하는 계산과정을 나타낸 흐름도이다. 도 7에 따르면 상기 방법에서의 문제 정의와 최적화 단계는 현재 시스템의 프론트홀 빔포밍(V), 묶음 빔포밍(L), 및 프론트홀 압축 전략(Ω)을 설정하는 단계(S71); 수학식 4의 조건에 현재 시스템의 L, V, Ω 값을 대입하는 단계 (S72); 블록함 차이 문제를 산출하는 변형된 변수를 대입하는 단계(S73); 및 DC 프로그래밍 방법으로 수학식 1을 계산해 가중합률을 극대화하는 단계(S74);로 이루어지고,

[0096] 도 8은 본 발명에 따른 무선 프론트홀을 가지는 C-RAN의 신호 전송시 기존의 C-RAN과의 성능을 비교한 그래프이다. 도 8에 따르면 $w_k = 1$ 이고 모든 $k \in \mathcal{N}_U$ 인 $n_B = N_R = N_U \in \{3, 6\}$ 와 $n_{R,i} = n_{U,k} = 1$ 를 만족하

는 C-RAN의 프론트홀과 접근 링크의 SNR $P_B = P_{R,i}$ 에서 평균 합비(The average sum rate)를 나타낸다. 본 발명은 BBU가 셀 중앙에 있고 한 측면의 길이가 500m인 사각형 영역 내에서 RRHs와 UEs의 위치가 균일한 분포로 결정된다는 가정하에 DF기반의 단일셀 처리와 DCF기반의 협동 방식의 성능을 DF 방식과 DCF방식에서 각각 논의 했다. 프론트홀 링크의 채널 행렬 \mathbf{H}_i 는 $\mathbf{H}_i = \sqrt{\gamma_i} \bar{\mathbf{H}}_i$ 로 모델링 되고, 이 때 경로손실 γ_i 는 $\gamma_i = 1/(1+(d_i/d_0)^\alpha)$, $\alpha = 3$, d_i 와 $d_0 = 80 \text{ m}$, 는 경로손실 지수로 각각 BBU와 RRHi간의 거리, 참고 거리이다. \mathbf{H}_i 의 성분은 독립적이고, $\mathcal{CN}(0,1)$ 처럼 개별적으로 분배된다. 접근링크의 채널 행렬 $\mathbf{G}_{k,i}$ 는 비슷하게 정의 된다. 참고로 본 발명은 또한 DCF방식의 프론트홀과 접근링크가 각각 최적화되는 경우의 성능을 제시한다. 이 경우 프론트홀 빔포밍 행렬 \mathbf{V} 는 최소 프론트홀 용량 $C_{\min} \triangleq \min_{i \in \mathcal{N}_R} C_i$ 또는 프론트홀 용량의 합

$C_{sum} \triangleq \sum_{i \in N_R} C_i$ 을 극대화 하기위해 최적화되고, 그러면 묶음 빔포밍 L 과 프론트홀 압축 전략 Ω 은 고정 프론트홀 용량 C 를 위해 공동으로 최적화된다. DF방식에서 셀조합을 위한 분할 $N_{U,1}, \dots, N_{U,N_R}$ 은 각각의 UE k 가 최대의 채널이득 $\|G_{k,i}\|_F^2$ 를 가진 RRHi에 의해 제공받음으로서 결정된다.

[0097] DCF 기반의 협력 방식이 SNRs $P_B = P_{R,i}$ 가 충분히 클 때 N_R RRHs의 공동 처리에 의한 이익에서 DF 기반의 단일 셀 방식보다 우월하다는 것을 알 수 있었고 DF 방식은 간섭제한 접근링크에 의해 저하되기 때문이다. 특히, 30dB에서 DCF방식은 각각 $n_B = N_R = N_U = 3$ 일때 수행 이득은 24.3%, $n_B = N_R = N_U = 6$ 일때 70.3%씩 더 좋은 결과를 보였다. 본 발명은 또한 프론트홀과 접근링크가 개별적으로 디자인된다면, 액세스 링크의 채널 상태 없이 프론트홀 빔포밍 행렬 V 를 결정하기 위해서 C_{sum} 보다 C_{min} 을 기준으로 삼는게 좋다는 것을 알았다. 또한 개별 디자인이 $n_B = N_R = N_U = 6$ 일 때, 공동 디자인과 비교해서 약 5dB의 수행 손실을 보이는 선형 기준에서도 DCF방식의 문제 정의와 최적화에서 논의한 공동 최적화의 중요성을 확인해 준다는 점이 중요하다.

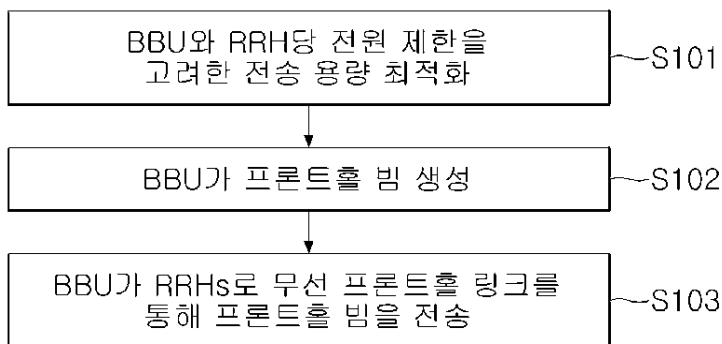
[0098] 이상에서 본 발명의 대표적인 실시 예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시 예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며, 후술하는 특허 청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

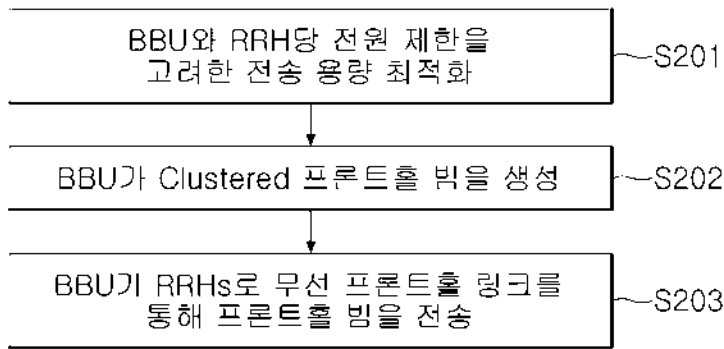
- [0099] 401 : 기저밴드처리부(BBU)
- 402 : 최적화 계산부
- 403 : RRHs

도면

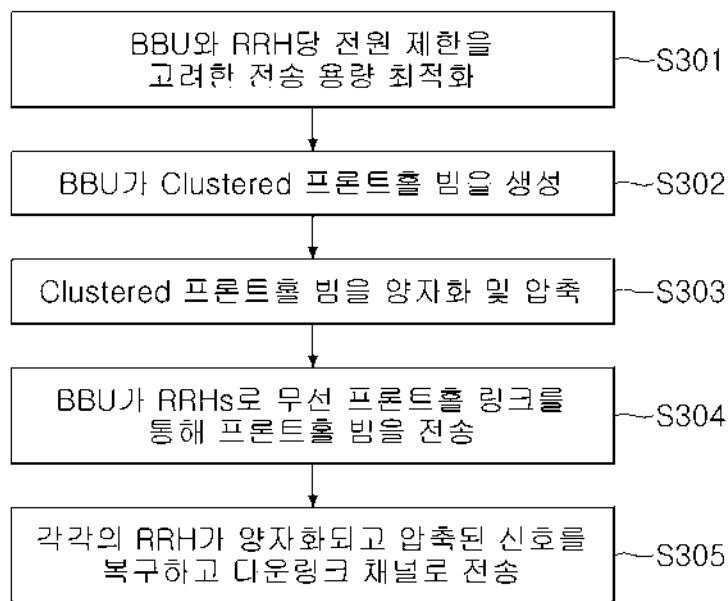
도면1



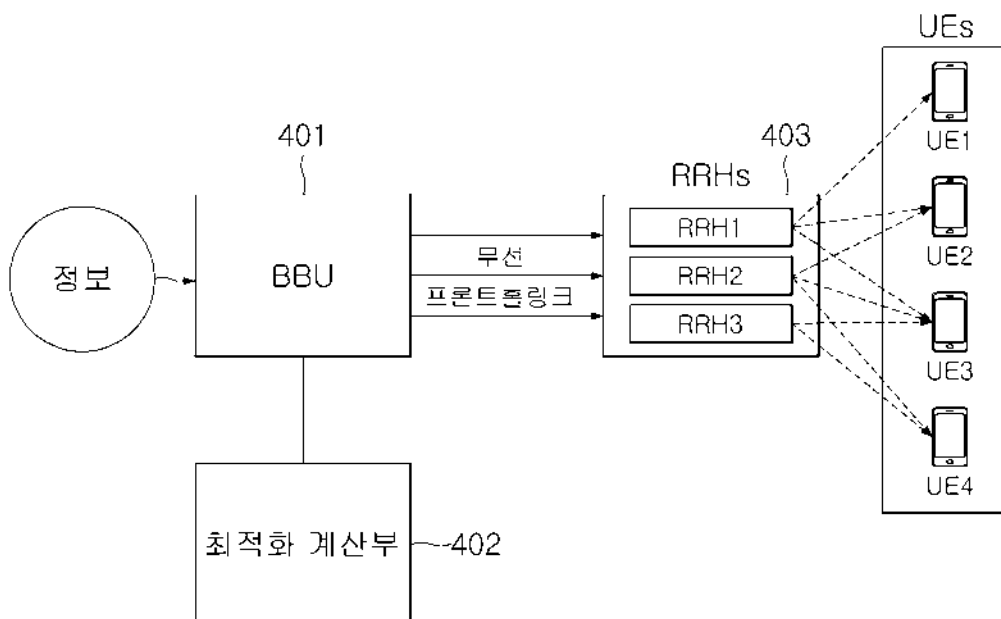
도면2



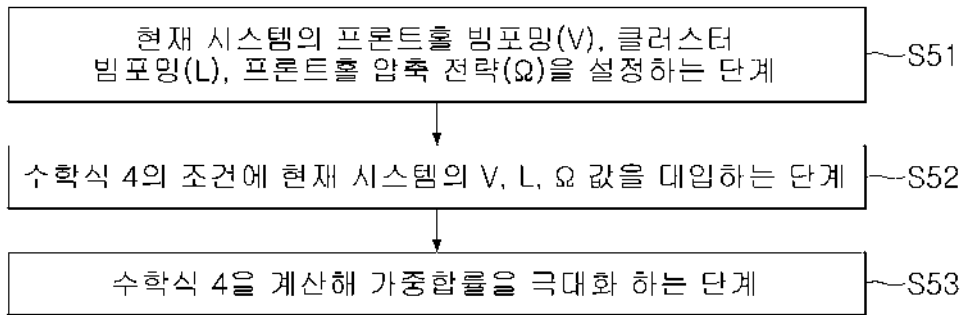
도면3



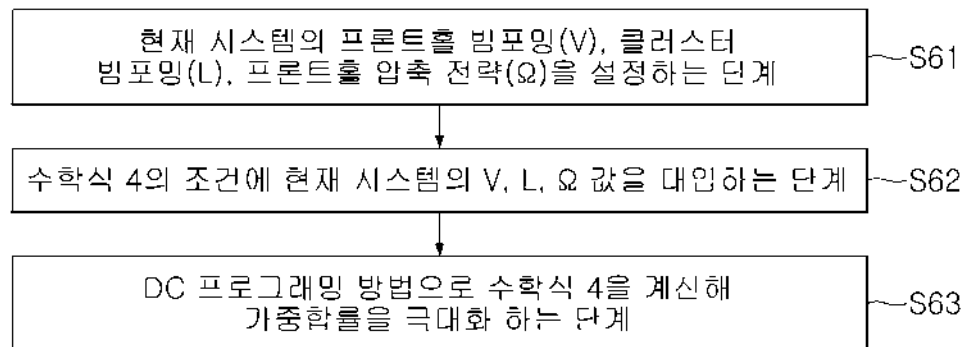
도면4



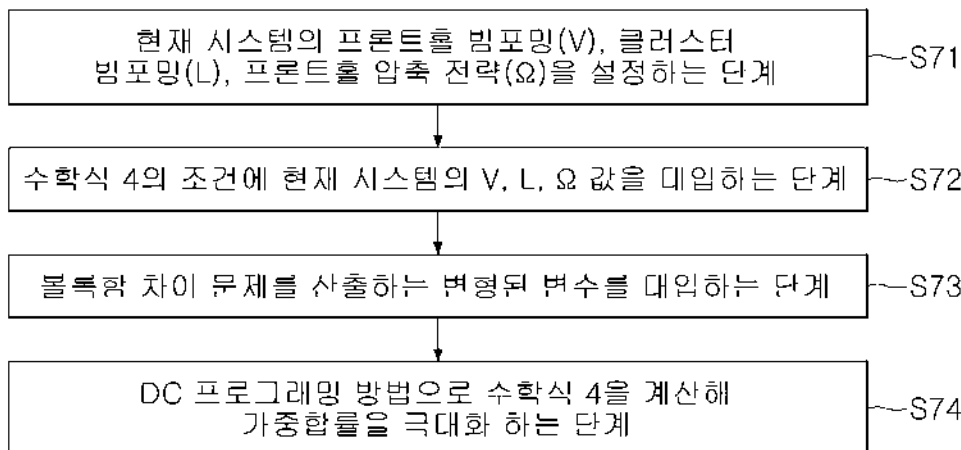
도면5



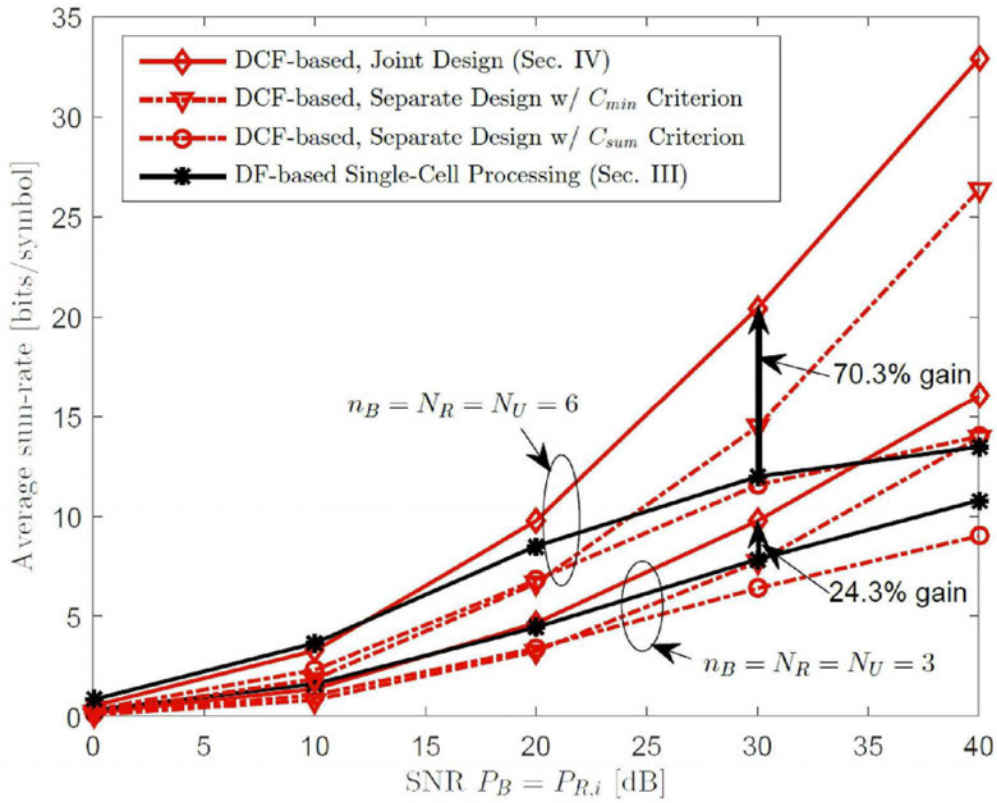
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 11항

【변경전】

상기 최적화 계산부의

【변경후】

최적화 계산부의

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 5항

【변경전】

상기 최적화 단계의

【변경후】

최적화 단계의