

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2025-0081234
(43) 공개일자 2025년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04J 99/00 (2009.01) G06N 20/00 (2019.01)
H04L 25/02 (2006.01) H04L 5/00 (2006.01)
H04W 74/00 (2024.01) H04W 74/08 (2024.01)

(52) CPC특허분류

H04J 99/00 (2022.08)
G06N 20/00 (2021.08)

(21) 출원번호 10-2023-0169377

(22) 출원일자 2023년11월29일

심사청구일자 2023년11월29일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

강충구

서울특별시 성북구 성북로26길 58, 1층 101호 (성북동)

한민식

경기도 성남시 분당구 분당로201번길 17 (서현동 효자촌현대아파트 103동) 103동 802호

(74) 대리인

특허법인위솔

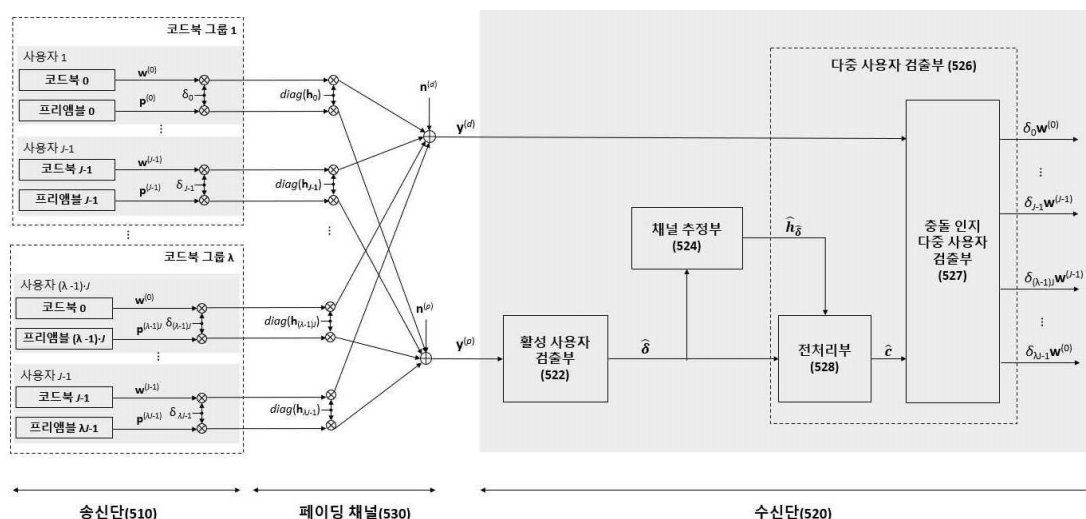
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 비예약식 랜덤 접속 시스템의 다중 사용자 데이터 검출 방법 및 장치

(57) 요약

비예약식 비직교 다중 접속 기반의 무선 통신 시스템이 개시된다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템은, 데이터 전송을 위한 자원의 예약 없이 비예약식(grant-free)으로 프리앰블 및 데이터를 전송하는 복수의 활성 사용자를 포함하는 송신단 및 상기 복수의 활성 사용자로부터 비예약식으로 전송된 프리앰블 및 데이터를 수신하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 수신단을 포함하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자는 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하고, 상기 코드북은 기 설정된 코드북 세트에서 상기 각 활성 사용자가 임의로 선택한 코드북일 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H04L 25/0202 (2013.01)

H04L 5/0016 (2013.01)

H04W 74/002 (2013.01)

H04W 74/0833 (2024.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193094
과제번호	2021-0-00467-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	6G핵심기술개발
연구과제명	지능형 6G 무선 액세스 시스템
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템에 있어서,

데이터 전송을 위한 자원의 예약 없이 비예약식(grant-free)으로 프리앰블 및 데이터를 전송하는 복수의 활성 사용자를 포함하는 송신단; 및

상기 복수의 활성 사용자로부터 비예약식으로 전송된 프리앰블 및 데이터를 수신하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 수신단을 포함하고,

상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자는 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하고,

상기 코드북은 기 설정된 코드북 세트에서 상기 각 활성 사용자가 임의로 선택한 코드북인 무선 통신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 모든 활성 사용자는 서로 다른 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하거나, 또는 상기 복수의 활성 사용자 중 적어도 2 이상의 활성 사용자는 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하는 무선 통신 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 수신단은,

상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 활성 사용자 검출부;

상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 채널 추정부; 및

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 다중 사용자 검출부를 포함하는 무선 통신 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 다중 사용자 검출부는,

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 전처리를 수행하여 채널 변조 코드북 정보를 획득하는 전처리부; 및

상기 복수의 활성 사용자로부터 수신된 데이터 및 상기 채널 변조 코드북 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 충돌 인지 다중 사용자 검출부를 포함하는 무선 통신 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 최대 λ 만큼의 활성 사용자가 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하는 무선 통신 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는,

다중 사용자 공유 계층(multi-user shared layer) 및 상기 λ 만큼의 중복되는 사용자 특정 계층(user-specific layer)을 포함하는 무선 통신 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는 $L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{s}}) = \sum_{n=0}^{\lambda J-1} L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)})$ 를 손실 함수로 이용하여 학습되고,

여기서,

$$L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)}) = - \sum_{m=0}^M r_{nm} \log(\hat{s}_{nm})$$

이고,

J 는 상기 기 설정된 코드북 세트에 포함된 코드북의 개수이고,

M 은 각 코드북에 포함된 코드워드의 수이고,

$\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 는 n 번째 사용자 특정 계층의 출력 벡터이고,

$\mathbf{r}^{(n)}$ $\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 을 기반으로 생성되는 원-핫 벡터(one-hot vector)인 무선 통신 시스템.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 전처리부는,

상기 활성 사용자 정보를 기반으로 활성 코드북을 획득하고,

상기 채널 정보를 기반으로 상기 활성 코드북과 연관된 채널을 획득하고,

상기 활성 코드북과 연관된 채널 및 상기 활성 코드북을 기반으로 상기 채널 변조 코드북을 정보를 획득하는 무선 통신 시스템.

청구항 9

비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템의 수신단 장치에 있어서,

복수의 활성 사용자로부터 프리앰블 및 데이터를 수신하는 송수신부;

상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 활성 사용자 검출부;

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 채널 추정부; 및

상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 다중 사용자 검출부를 포함하는 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 모든 활성 사용자는 서로 다른 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하거나, 또는 상기 복수의 활성 사용자 중 적어도 2 이상의 활성 사용자는 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하는 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 다중 사용자 검출부는,

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 전처리를 수행하여 채널 변조 코드북 정보를 획득하는 전처리부; 및

상기 복수의 활성 사용자로부터 수신된 데이터 및 상기 채널 변조 코드북 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 충돌 인지 다중 사용자 검출부를 포함하는 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 최대 λ 만큼의 활성 사용자에 대응되는 데이터가 동일한 코드북과 연관되는 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는,

다중 사용자 공유 계층(multi-user shared layer) 및 상기 λ 만큼의 중복되는 사용자 특정 계층(user-specific layer)을 포함하는 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는 $L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{s}}) = \sum_{n=0}^{J-1} L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)})$ 를 손실 함수로 이용하여 학습되고,

여기서,

$$L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)}) = -\sum_{m=0}^M r_{nm} \log(\hat{s}_{nm}) \quad \text{이고,}$$

J 는 상기 기 설정된 코드북 세트에 포함된 코드북의 개수이고,

M 은 각 코드북에 포함된 코드워드의 수이고,

$\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 는 n 번째 사용자 특정 계층의 출력 벡터이고,

$\mathbf{r}^{(n)}$ 은 상기 $\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 을 기반으로 생성되는 원-핫 벡터(one-hot vector)인 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 전처리부는,

상기 활성 사용자 정보를 기반으로 활성 코드북을 획득하고,

상기 채널 정보를 기반으로 상기 활성 코드북과 연관된 채널을 획득하고,

상기 활성 코드북과 연관된 채널 및 상기 활성 코드북을 기반으로 상기 채널 변조 코드북을 정보를 획득하는 장

치.

청구항 16

비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템의 수신단에 의해 수행되는 방법에 있어서,

복수의 활성 사용자로부터 프리앰블 및 데이터를 수신하는 단계;

상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 단계;

상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 단계; 및

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터는, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 의해 임의로 선택된 코드북과 연관되는 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 모든 활성 사용자는 서로 다른 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하거나, 또는 상기 복수의 활성 사용자 중 적어도 2 이상의 활성 사용자는 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하는 방법.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 단계는,

상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 전처리를 수행하여 채널 변조 코드북 정보를 획득하는 단계; 및

상기 복수의 활성 사용자로부터 수신된 데이터 및 상기 채널 변조 코드북 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 복수의 활성 사용자 중 최대 λ 만큼의 활성 사용자에 대응되는 데이터가 동일한 코드북과 연관되는 방법.

청구항 20

제18항에 있어서,

채널 변조 코드북 정보를 획득하는 단계는,

상기 활성 사용자 정보를 기반으로 활성 코드북을 획득하는 단계,

상기 채널 정보를 기반으로 상기 활성 코드북과 연관된 채널을 획득하는 단계,

상기 활성 코드북과 연관된 채널 및 상기 활성 코드북을 기반으로 상기 채널 변조 코드북 정보를 획득하는 단계를 포함하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 비예약식 비직교 다중 접속 기반의 무선 통신 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 비예약식 비직교 다중 접속을 통한 상향링크 비예약식 다중 접속 상황에서 활성 사용자가 데이터 심볼과 파일럿(pilot) 시퀀

[0001]

스를 한 번에 전송할 때, 파일럿 이용해 검출한 활성 사용자 정보와 해당 활성 사용자 채널을 활용하여 서로 다른 활성 사용자 조합으로 전송된 중첩 데이터 심볼에 대한 다중 사용자 검출(multi-user detection; MUD)을 수행하기 위한 방법 및 이를 수행할 수 있는 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 본 발명은 지능형 6G 무선 액세스 시스템 중 수많은 Internet-of-things (IoT) 센서(기기 또는 사용자)들이 동시에 상향링크로 다중 접속하는 Massive IoT 시스템을 고려한다. 전통적인 4G 이동통신 규격에서는 수많은 IoT 기기들이 동시에 상향링크로 데이터를 전송하기 위해, 각 사용자가 데이터 전송을 위한 필요한 상향링크 자원을 예약을 통해 할당(grant)을 받아야 한다. 그런데, IoT 기기들은 전송 데이터의 양이 적기 때문에 수많은 IoT 사용자들에게 개별적으로 예약에 의해 자원을 할당하는 것은 전송 데이터 양에 비해 요청과 할당 과정에 필요한 신호의 부하가 많이 필요하므로 매우 비효율적이다. 따라서, 복수의 사용자 기기 중 일부의 기기들만 활성화하여 별도의 예약 과정이 없이 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 동시에 전송하는 비예약식(grant-free) 다중 접속 시스템이 고려되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2010-0132416호(2010.12.17)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 비예약식 다중 접속 상황에서는 활성 사용자들이 보낼 데이터가 있을 때, 자원에 대한 예약(grant)을 받지 않고 바로 데이터와 프리앰블(파일럿)을 여러 사용자가 경쟁하는 자원에 전송한다. 본 발명은 활성 사용자의 데이터를 비직교 확산 수열을 통해 확산하는 비예약식 비직교 다중접속 상황을 가정했을 때 확산 데이터 수신하기 위한 절차인 다중 사용자 검출기(multi-user detection; MUD)를 제안하고자 한다. 비예약식 비직교 다중접속 상황에서는 활성 사용자가 임의로 고른 비직교 확산 수열을 사용하므로, 수신 데이터에 활용된 비직교 확산 수열의 조합은 활성 사용자 조합이 변할 때마다 바뀌게 된다. 딥러닝을 사용하지 않은 전통적인 MUD는 각 비직교 확산 수열 조합에 따라 서로 다른 MUD를 설계 및 구현해야 하므로 수신 복잡도 및 수신기 설계 비용이 높은 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해, 본 발명은 수신 데이터의 코드북(확산 수열) 조합이 변하는 비예약식 비직교 다중 접속 상황에서 여러 코드북 조합에 대해 동일한 다중 사용자 검출 절차를 통해 데이터를 수신할 수 있도록 하는 딥러닝 기반 다중 사용자 검출기 설계 방식을 제시한다.

과제의 해결 수단

[0005] 전송한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템은, 데이터 전송을 위한 자원의 예약 없이 비예약식(grant-free)으로 프리앰블 및 데이터를 전송하는 복수의 활성 사용자를 포함하는 송신단 및 상기 복수의 활성 사용자로부터 비예약식으로 전송된 프리앰블 및 데이터를 수신하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에게 대응되는 데이터를 검출하는 수신단을 포함하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자는 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하고, 상기 코드북은 기 설정된 코드북 세트에서 상기 각 활성 사용자가 임의로 선택한 코드북일 수 있다.

[0006] 일 실시 예에 따르면, 상기 복수의 활성 사용자 중 모든 활성 사용자는 서로 다른 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송하거나, 또는 상기 복수의 활성 사용자 중 적어도 2 이상의 활성 사용자는 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송할 수 있다.

[0007] 일 실시 예에 따르면, 상기 수신단은, 상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 활성 사용자 검출부, 상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 채널 추정부 및 상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에게 대응되는 데이터를 검출하는 다중 사용자 검출부를 포함할 수 있다.

- [0008] 일 실시 예에 따르면, 상기 다중 사용자 검출부는, 상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 전처리를 수행하여 채널 변조 코드북 정보를 획득하는 전처리부 및 상기 복수의 활성 사용자로부터 수신된 데이터 및 상기 채널 변조 코드북 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 충돌 인지 다중 사용자 검출부를 포함할 수 있다.
- [0009] 일 실시 예에 따르면, 상기 복수의 활성 사용자 중 최대 λ 만큼의 활성 사용자가 동일한 코드북을 기반으로 상기 데이터를 전송할 수 있다.
- [0010] 일 실시 예에 따르면, 상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는, 다중 사용자 공유 계층(multi-user shared layer) 및 상기 λ 만큼의 중복되는 사용자 특정 계층(user-specific layer)을 포함할 수 있다.
- [0011] 일 실시 예에 따르면, 상기 충돌 인지 다중 사용자 검출부는 $L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{s}}) = \sum_{n=0}^{\lambda J-1} L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)})$ 를 손실 함수로 이용하여 학습되고, 여기서, $L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)}) = -\sum_{m=0}^M r_{nm} \log(\hat{s}_{nm})$ 이고, λ 는 상기 기 설정된 코드북 세트에 포함된 코드북의 개수이고, M 은 각 코드북에 포함된 코드워드의 수이고, $\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 는 n 번째 사용자 특정 계층의 출력 벡터이고, $\mathbf{r}^{(n)}$ 은 상기 $\hat{\mathbf{s}}^{(n)}$ 을 기반으로 생성되는 원-핫 벡터(one-hot vector)일 수 있다.
- [0012] 일 실시 예에 따르면, 상기 전처리부는, 상기 활성 사용자 정보를 기반으로 활성 코드북을 획득하고, 상기 채널 정보를 기반으로 상기 활성 코드북과 연관된 채널을 획득하고, 상기 활성 코드북과 연관된 채널 및 상기 활성 코드북을 기반으로 상기 채널 변조 코드북을 정보를 획득할 수 있다.
- [0013] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템의 수신단 장치는, 복수의 활성 사용자로부터 프리앰블 및 데이터를 수신하는 송수신부, 상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 활성 사용자 검출부, 상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 채널 추정부 및 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 다중 사용자 검출부를 포함할 수 있다.
- [0014] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 기반의 무선 통신 시스템의 수신단에 의해 수행되는 방법은, 복수의 활성 사용자로부터 프리앰블 및 데이터를 수신하는 단계, 상기 프리앰블을 기반으로 상기 복수의 활성 사용자를 검출하여 활성 사용자 정보를 획득하는 단계, 상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득하는 단계 및 상기 활성 사용자 정보 및 상기 채널 정보를 기반으로 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터를 검출하는 단계를 포함하고, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대응되는 데이터는, 상기 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 의해 임의로 선택된 코드북과 연관될 수 있다.
- 발명의 효과**
- [0015] 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, 하나의 딥러닝 기반 다중 사용자 검출기 네트워크가 여러 개 조합의 코드북(확산 수열)을 사용한 수신 데이터에 대해 다중 사용자 검출을 수행하도록 함으로써, 수신 복잡도와 비용을 낮출 수 있다.
- [0016] 또한 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, 다중 사용자 검출기 설계(학습)를 위한 보조 정보로서 채널 벡터를 그대로 다중 사용자 검출기에 입력하는 것이 아닌, 입력 전처리 과정을 통해 코드북과 채널을 동시에 고려한 벡터를 보조 정보(side-information)로 고려하여 다중 사용자 검출기를 효과적으로 학습하게 함으로써 학습 효율과 최종 비트 오류율 성능을 높일 수 있다.
- [0017] 또한 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, λ 개의 서로 다른 사용자 특정 레이어(layer)를 통해 최대 λ 개의 코드북 충돌을 구분하기 위한 일반화된 딥러닝 기반 멀티 태스크 러닝 MUD 구조를 제시하고, 딥러닝 기반 MUD가 코드북 충돌까지 구분할 수 있도록 함으로써 동일한 코드북이 λ 개만큼 충돌이 발생하는 경우라고 하더라도 채널을 통해 수신기가 각 사용자의 데이터를 검출할 수 있도록 한다.
- [0018] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 비예약식 다중 접속 시스템 모델의 일 예시를 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 SCMA 코드북의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association)에 기반한 SCMA 코드북 구조를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association) 구조가 적용된 GF-SCMA 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 기지국 수신기 학습을 위한 가상의 송수신 모델을 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 수신단이 송신단으로부터 송신된 프리앰블 및 데이터를 수신하는 과정을 나타낸 순서도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 충돌 인지 다중 사용자 검출부의 구조를 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전처리부의 채널 변조된 코드북 생성 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 2 개의 코드북이 활성화된 상황에서 채널 변조 코드북을 생성하는 절차를 나타낸 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 충돌 인지 다중 사용자 검출(CA-MUD)에 기반한 각 활성 사용자에 대한 데이터를 검출하는 과정을 나타낸 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 채널 변조 코드북 정보를 획득하기 위한 전처리 과정을 나타낸 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른 2개의 코드북이 활성화된 경우 코드북 조합에 따른 평균 BER 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시 예에 따른 3개의 코드북이 활성화된 경우 코드북 조합에 따른 평균 BER 성능을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0021] 실시예를 설명함에 있어서 본 발명이 속하는 기술 분야에 익히 알려져 있고 본 발명과 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.
- [0022] 마찬가지로 이유로 첨부된 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 개략적으로 도시되었다. 또한, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다. 각 도면에서 동일한 또는 대응하는 구성 요소에는 동일한 참조 번호를 부여하였다.
- [0023] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 개시의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다. 또한 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략한다. 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.
- [0024] 이하, 기지국은 단말의 자원할당을 수행하는 주체로서, gNode B (gNB), eNode B (eNB), Node B, BS (Base Station), 무선 접속 유닛, 기지국 제어기, 또는 네트워크 상의 노드 중 적어도 하나일 수 있다. 단말은 사용자 기기(UE: User Equipment), MS (Mobile Station), 셀룰러폰, 스마트폰, 컴퓨터, 또는 통신기능을 수행할 수 있는 멀티미디어시스템을 포함할 수 있다.

- [0025] 본 발명에서 하향링크(DL: Downlink)는 기지국이 단말에게 전송하는 신호의 무선 전송경로이고, 상향링크는(UL: Uplink)는 단말이 기지국에게 전송하는 신호의 무선 전송경로를 의미한다.
- [0026] 또한, 이하에서 LTE (Long-Term Evolution) 또는 LTE-A (LTE-advanced) 시스템을 일례로서 설명할 수도 있지만, 유사한 기술적 배경 또는 채널형태를 갖는 여타의 통신시스템에도 본 발명의 실시예가 적용될 수 있다. 예를 들어 LTE-A 이후에 개발되는 5세대 이동통신 기술(5G, new radio, NR)이 이에 포함될 수 있으며, 이하의 5G는 기존의 LTE, LTE-A 및 유사한 다른 서비스를 포함하는 개념일 수도 있다. 또한, 본 발명은 숙련된 기술적 지식을 가진 자의 판단으로써 본 발명의 범위를 크게 벗어나지 아니하는 범위에서 일부 변형을 통해 다른 통신 시스템에도 적용될 수 있다.
- [0027] 이때, 처리 흐름도 도면들의 각 블록과 흐름도 도면들의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이들 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방식으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 흐름도 블록(들)에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.
- [0028] 또한, 각 블록은 특정된 논리적 기능(들)을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또, 몇 가지 대체 실행 예들에서는 블록들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예를 들면, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.
- [0029] 이때, 본 실시예에서 사용되는 '~부'라는 용어는 소프트웨어 또는 FPGA(field Programmable Gate Array) 또는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, '~부'는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '~부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '~부'는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들, 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '~부'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 '~부'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~부'들로 더 분리될 수 있다. 뿐만 아니라, 구성요소들 및 '~부'들은 디바이스 또는 보안 멀티미디어카드 내의 하나 또는 그 이상의 CPU (central processing unit)들을 재생시키도록 구현될 수도 있다. 또한 실시예에서 '~부'는 하나 이상의 프로세서를 포함할 수 있다.
- [0030] 무선 통신 시스템은 초기의 음성 위주의 서비스를 제공하던 것에서 벗어나 예를 들어, 3GPP의 HSPA(High Speed Packet Access), LTE(Long Term Evolution 또는 E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access)), LTE-Advanced (LTE-A), LTE-Pro, 3GPP2의 HRPD(High Rate Packet Data), UMB(Ultra Mobile Broadband), 및 IEEE의 802.16e 등의 통신 표준과 같이 고속, 고품질의 패킷 데이터 서비스를 제공하는 광대역 무선 통신 시스템으로 발전하고 있다.
- [0031] 상기 광대역 무선 통신 시스템의 대표적인 예로, LTE 시스템에서는 하향링크(Downlink; DL)에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 채용하고 있고, 상향링크(Uplink; UL)에서는 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 방식을 채용하고 있다. 상향링크는 단말(UE(User Equipment) 또는 MS(Mobile Station))이 기지국(eNode B, 또는 base station(BS))으로 데이터 또는 제어신호를 전송하는 무선링크를 뜻하고, 하향링크는 기지국이 단말로 데이터 또는 제어 신호를 전송하는 무선 링크를 뜻한다. 상기와 같은 다중 접속 방식은, 통상 각 사용자 별로 데이터 또는 제어정보를 실어 보낼 시간-주파수 자원

을 서로 겹치지 않도록, 즉 직교성 (Orthogonality)이 성립하도록, 할당 및 운용함으로써 각 사용자의 데이터 또는 제어정보를 구분할 수 있다.

[0032] LTE 이후의 향후 통신 시스템으로서, 즉, 5G 통신시스템은 사용자 및 서비스 제공자 등의 다양한 요구 사항을 자유롭게 반영할 수 있어야 하기 때문에 다양한 요구사항을 동시에 만족하는 서비스가 지원되어야 한다. 5G 통신시스템을 위해 고려되는 서비스로는 향상된 모바일 광대역 통신(eMBB: enhanced Mobile Broadband), 대규모 기계형 통신(mMTC: massive Machine Type Communication), 초신뢰 저지연 통신(URLLC: Ultra Reliability Low Latency Communication) 등이 있다.

[0033] eMBB는 기존의 LTE, LTE-A 또는 LTE-Pro가 지원하는 데이터 전송 속도보다 더욱 향상된 데이터 전송 속도를 제공하는 것을 목표로 한다. 예를 들어, 5G 통신시스템에서 eMBB는 하나의 기지국 관점에서 하향링크에서는 20Gbps의 최대 전송 속도(peak data rate), 상향링크에서는 10Gbps의 최대 전송 속도를 제공할 수 있어야 한다. 또한 5G 통신시스템은 최대 전송 속도를 제공하는 동시에, 증가된 단말의 실제 체감 전송 속도(User perceived data rate)를 제공해야 한다. 이와 같은 요구 사항을 만족시키기 위해, 더욱 향상된 다중 안테나 (MIMO: Multi Input Multi Output) 전송 기술을 포함하여 다양한 송수신 기술의 향상을 요구한다. 또한 LTE가 사용하는 2GHz 대역에서 최대 20MHz 전송대역폭을 사용하여 신호를 전송하는 반면에, 5G 통신시스템은 3~6GHz 또는 6GHz 이상의 주파수 대역에서 20MHz 보다 넓은 주파수 대역폭을 사용함으로써 5G 통신시스템에서 요구하는 데이터 전송 속도를 만족시킬 수 있다.

[0034] 동시에, 5G 통신시스템에서 사물 인터넷(Internet of Thing, IoT)과 같은 응용 서비스를 지원하기 위해 mMTC가 고려되고 있다. mMTC는 효율적으로 사물 인터넷을 제공하기 위해 셀 내에서 대규모 단말의 접속 지원, 단말의 커버리지 향상, 향상된 배터리 시간, 단말의 비용 감소 등이 요구된다. 사물 인터넷은 여러 가지 센서 및 다양한 기기에 부착되어 통신 기능을 제공하므로 셀 내에서 많은 수의 단말(예를 들어, 1,000,000 단말/km²)을 지원할 수 있어야 한다. 또한 mMTC를 지원하는 단말은 서비스의 특성상 건물의 지하와 같이 셀이 커버하지 못하는 음영지역에 위치할 가능성이 높으므로 5G 통신시스템에서 제공하는 다른 서비스 대비 더욱 넓은 커버리지를 요구할 수 있다. mMTC를 지원하는 단말은 저가의 단말로 구성되어야 하며, 단말의 배터리를 자주 교환하기 힘들기 때문에 10~15년과 같이 매우 긴 배터리 수명시간(battery life time)이 요구될 수 있다.

[0035] 마지막으로, URLLC의 경우, 특정한 목적(mission-critical)으로 사용되는 셀룰라 기반 무선 통신 서비스이다. 예를 들어, 로봇(Robot) 또는 기계 장치(Machinery)에 대한 원격 제어(remote control), 산업 자동화(industrial automation), 무인 비행장치(Unmanned Aerial Vehicle), 원격 건강 제어(Remote health care), 비상 상황 알림(emergency alert) 등에 사용되는 서비스 등을 고려할 수 있다. 따라서 URLLC가 제공하는 통신은 매우 낮은 저지연 및 매우 높은 신뢰도 제공해야 한다. 예를 들어, URLLC를 지원하는 서비스는 0.5 밀리초 보다 작은 무선 접속 지연시간(Air interface latency)를 만족해야 하며, 동시에 10⁻⁵ 이하의 패킷 오류율(Packet Error Rate)의 요구사항을 갖는다. 따라서, URLLC를 지원하는 서비스를 위해 5G 시스템은 다른 서비스보다 작은 전송 시간 구간(Transmit Time Interval, TTI)를 제공해야 하며, 동시에 통신 링크의 신뢰성을 확보하기 위해 주파수 대역에서 넓은 리소스를 할당해야 하는 설계사항이 요구될 수 있다.

[0036] 5G의 세가지 서비스들, 즉 eMBB, URLLC, mMTC는 하나의 시스템에서 다중화되어 전송될 수 있다. 이 때, 각각의 서비스들이 갖는 상이한 요구사항을 만족시키기 위해 서비스간에 서로 다른 송수신 기법 및 송수신 파라미터를 사용할 수 있다. 물론 5G는 전술한 세가지 서비스들에 제한되지 않는다.

[0037] 본 발명은 지능형 6G 무선 액세스 시스템 중 수많은 Internet-of-things (IoT) 센서(기기 또는 사용자)들이 동시에 상향링크로 다중 접속하는 Massive IoT 시스템을 고려한다. 전통적인 4G 이동통신 규격에서는 수많은 IoT 기기들이 동시에 상향링크로 데이터를 전송하기 위해, 각 사용자가 데이터 전송을 위한 필요한 상향링크 자원을 예약을 통해 할당(grant)을 받아야 한다. 그런데, IoT 기기들은 전송 데이터의 양이 적기 때문에 수많은 IoT 사용자들에게 개별적으로 예약에 의해 자원을 할당하는 것은 전송 데이터 양에 비해 요청과 할당 과정에 필요한 신호의 부하가 많이 필요하므로 매우 비효율적이다. 따라서, 복수의 사용자 기기 중 일부의 기기들만 활성화하여 별도의 예약 과정이 없이 데이터 심볼과 파일럿 심볼을 동시에 전송하는 비예약식(grant-free) 다중 접속 시스템이 고려되었다.

[0038] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 비예약식 다중 접속 시스템 모델의 일 예시를 나타낸 도면이다.

[0039] 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 다중 접속 시스템(100)은 기지국(110) 및 기지국(110)과 무선 통신을 수행하는 복수의 사용자(user)(120)를 포함할 수 있다. 이하 본 발명의 설명에서 특별히 정의하지 않는 이상 사용

자(user)는 사용자가 사용하는 단말, 즉 앞서 설명한 사용자 기기(UE: User Equipment), MS (Mobile Station), 셀룰러폰, 스마트폰, 컴퓨터, 또는 통신기능을 수행할 수 있는 멀티미디어시스템을 포함하는 개념으로 이해될 수 있다.

[0040] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 비예약식 다중 접속 시스템(100)의 복수의 사용자(120)는 사용자 0, 사용자 1 뿐 사용자 N_u-1 를 포함할 수 있다. N_u 는 비예약식 다중 접속 시스템(100)을 구성하는 전체 사용자의 수를 나타낸다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 N_u 는 비예약식 다중 접속 시스템(100) 복수의 사용자(120) 중 일부는 기지국으로 프리앰블 및 데이터를 전송하는 활성 상태로 동작하고, 다른 일부는 기지국으로 프리앰블 및 데이터를 전송하지 않는 비활성 상태로 동작할 수 있다. 이하 본 발명의 설명에서 활성 상태로 동작하는 사용자는 활성 사용자(active user)(121)로 명명하고, 비활성 상태로 동작하는 사용자는 비활성 사용자(inactive user)(122)로 명명한다.

[0041] 활성 사용자는 상향링크를 통해 기지국으로 프리앰블 및 데이터를 전송할 수 있다. 이 때 프리앰블은 파일럿(pilot) 심볼을 통해 전송되고, 데이터는 데이터 심볼을 통해 전송될 수 있다. 도 1의 예시에서는 사용자 1 및 사용자 n 이 활성 상태로 동작하며, 사용자 1은 시간-주파수 자원에서 상향링크를 통해 사용자 1의 파일럿 심볼 및 데이터 심볼을 기지국으로 전송하고, 사용자 n 은 시간-주파수 자원에서 상향링크를 통해 사용자 n 의 프리앰블 및 데이터를 기지국으로 전송할 수 있다. 활성 사용자가 전송한 프리앰블 및 데이터는 각각 페이딩(fading) 채널을 거쳐 기지국에서 수신될 수 있다.

[0042] 본 발명의 실시 예에서, 활성 사용자는 기지국으로부터 상향링크 전송을 위한 별도의 물리적 자원을 예약 및 할당하는 과정 없이 여러 사용자가 경쟁하는 자원에서 상향링크 전송을 수행할 수 있다. 이처럼 사용자가 자원에 대한 예약(grant)을 받지 않고 경쟁 기반으로 상향링크 전송을 수행하는 시스템을 비예약식(grant-free) 다중 접속 시스템(100)이라고 한다. 비예약식 다중 접속 시스템(100)에서는 기지국(110)이 복수의 사용자(120)의 상향링크 자원을 중첩되지 않도록 조율하는 과정 없이 사용자가 임의로 선택한 자원에서 경쟁 기반 상향링크 전송이 수행되기 때문에, 각 활성 사용자가 전송하는 파일럿 심볼 또는 데이터 심볼은 서로 중첩될 수 있다. 예를 들어, 도 1의 사용자 1이 기지국으로 파일럿 심볼 또는 데이터 심볼을 전송하기 위해 사용하는 자원과 사용자 n 이 기지국으로 파일럿 심볼 또는 데이터 심볼을 전송하기 위해 사용하는 자원이 서로 중첩될 수 있다.

[0043] 비예약식 다중 접속에서 활성 사용자들의 데이터 심볼이 중첩되어 전송될 때, 데이터 심볼에 대한 확산(spreading)을 수행한다면 다중 접속 간섭(multiple access interference)을 감소시킬 수 있다. 데이터 심볼에 대한 확산은 확산 수열(spreading sequence)을 기반으로 수행될 수 있다. 데이터 심볼에 대한 확산을 수행하기 위한 확산 수열의 길이를 K 라고 하고, 사용되는 확산 수열의 개수를 J 라고 할 때, 만약 $J > K$ 라면 J 개의 비직교 확산 수열이 생성된다. 이러한 비직교 확산 수열을 이용한 비예약식 다중 접속 방식을 비예약식 비직교 다중 접속(grant-free non-orthogonal multiple access, GF-NOMA) 시스템이라고 한다. 이하 본 발명의 설명에서는 비직교 확산 수열의 한 방식으로, 코드북 기반의 확산 방식인 SCMA(sparse codebook multiple access)를 사용하는 비예약식 비직교 다중 접속 시스템인 비 예약식 SCMA(grant-free sparse codebook multiple access, GF-SCMA)를 예시로 설명할 것이다. 그러나, SCMA 방식의 데이터 확산은 GF-NOMA를 위한 비직교 확산의 한 예시일 뿐, 본 발명의 범위를 한정하지 않으며 여러가지 다른 비직교 확산 방식을 사용하는 GF-NOMA 시스템에 대하여도 적용될 수 있음에 유의한다. 따라서, 이후 본 발명의 설명에서 GF-SCMA를 기반으로 설명된 내용은 일반적인 GF-NOMA 시스템에 대하여 적용될 수 있으며, 또한 이후 본 발명의 설명에서 "코드북"은 일반적인 GF-NOA 시스템에서 사용되는 확산 수열의 일 예시로 사용된 표현으로서 "코드북"을 기반으로 설명된 내용은 일반적인 GF-NOMA 시스템에서 사용되는 확산 수열에 대하여도 적용될 수 있을 것이다.

[0044] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 SCMA 코드북의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[0045] 도 2를 참조하면, 코드북 기반의 확산 방식인 SCMA에 대한 모 코드북 세트(mother codebook set)는 $\bar{\mathbf{C}} = \{\mathbf{C}_0, \mathbf{C}_1, \dots, \mathbf{C}_{J-1}\}$ 와 같이 J 개 코드북으로 정의될 수 있다. 여기서 j 번째 코드북은 $\mathbf{C}_j(j = 0, \dots, J-1)$ 로 정의되고, 각 $\mathbf{C}_j$ 는 K 차원의 M 개 코드워드로 구성될 수 있다. M 개의 코드워드 중 m 번째 코드워드를 벡터 $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbf{C}^K$ 로 나타내면, j 번째 코드북은 $\mathbf{C}_j = \{\mathbf{c}_0^{(j)}, \mathbf{c}_1^{(j)}, \dots, \mathbf{c}_{M-1}^{(j)}\}$ 로 주어진다. 각 코드워드에서 0이 아닌 요소를 N 개라고 할 때, $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbf{C}^K$ 는 $N \times K$ 인 희소 벡터(sparse vector)를 나타낸다. 각 코드워드의 나머지 $K-N$ 개의 요소는 0의 값을 가질 수 있다. 이처럼 SCMA 코드북은 코드북을 구성하는 각 코드워드에서 전체 길이 K 중 일부인 N 개의 요소에만 0이 아닌 데이터를 매핑하고 나머지 $K-N$ 개의 요소는 0의 값을 가지도록 정의되며, 이를 통해 복수 개의 코드

북이 동시에 활성화될 경우에도 간섭을 줄일 수 있도록 한다. 이 때 코드북 $\mathbf{c}_i$ 는 특정 프리앰블 $\mathbf{p}^{(j)}$ 와 연관 관계를 가질 수 있다.

[0046] 한편, 대규모 기계 통신에서는 각 사용자들의 활성화가 낮은 상황일 뿐만 아니라 실제로 사용할 수 있는 코드북의 수가 제한적이므로 개별 사용자에게 고유한 코드북을 고정하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서, J개의 코드북이 다수 사용자에 의해 재사용되어야 하며, 이를 위해 모 코드북 세트에서 각 사용자가 활성화될 때 랜덤하게 코드북을 선택하여 사용하도록 할 수 있다. 만약 SCMA 코드북을 비예약식 전송 시스템에 적용한다면, 각 활성화 사용자가 J개의 코드북 중 하나의 코드북을 랜덤하게 선택하여 데이터 전송을 수행하므로 여러 활성화 사용자가 동일한 코드북을 사용하여 데이터 전송을 수행하는 경우가 발생할 수 있다. 이처럼 여러 활성화 사용자가 동일한 코드북을 사용하는 상황을 코드북 충돌(codebook collision)이라고 한다. 기지국은 활성화 사용자가 신호 전송에 사용한 코드북을 이용하여 해당 활성화 사용자들에 대한 데이터를 검출하는 다중 사용자 검출(multi-user detection, MUD)을 수행하므로, 여러 사용자가 동일한 코드북을 사용하여 신호를 전송한 코드북 충돌의 상황에서는 기지국의 다중 사용자 검출 성능이 열화될 수 있다.

[0047] 비예약식 비직교 다중접속 시스템에서 서로 다른 두 활성화 사용자의 비직교 코드북이 동일하더라도, 만약 두 사용자가 서로 다른 채널을 통해 신호를 전송한다면 기지국은 채널을 이용해 코드북을 통해 확산된 활성화 사용자의 데이터를 검출할 수 있다. 예를 들어, 두 사용자가 동일한 코드북의 코드워드를 통해 데이터를 전송한 경우라고 하더라도 두 사용자가 전송한 상향링크 데이터가 기지국으로 전송되는 과정에서 겪는 채널이 서로 다를 경우 기지국이 각 사용자와 기지국 사이의 채널을 추정할 수 있다면 채널을 통해 두 사용자가 전송한 상향링크 데이터를 각각 구분하여 다중 사용자 검출을 수행할 수 있다. 이를 위해서는 동일한 코드북을 사용하는 두 사용자의 채널이 정확하게 추정될 필요가 있다. 기지국은 사용자로부터 전송된 프리앰블을 이용하여 채널 추정을 수행하며, 동일 코드북을 사용하는 둘 이상의 사용자의 채널을 정확히 추정하기 위해 하나의 코드북과 다수 개의 프리앰블을 연관시켜서 사용할 수 있다. 이를 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association) 구조라고 한다. 이처럼 다대일 프리앰블-코드북 연관을 사용할 경우, 다수 개의 프리앰블이 하나의 코드북과 연관되므로 서로 다른 두 활성화 사용자가 사용한 코드북이 동일한 경우에도 활성화 사용자가 사용한 프리앰블은 서로 다를 수 있다. 이처럼 동일한 코드북이 사용된 경우라고 하더라도, 사용된 프리앰블이 다르다면 기지국은 프리앰블을 이용한 채널 추정을 통해 다중 사용자 검출을 수행할 수 있으며 각 활성화 사용자가 전송한 데이터를 구분하여 수신할 수 있다.

[0048] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association)에 기반한 SCMA 코드북 구조를 나타낸 도면이다.

[0049] 도 3을 참조하면, 다대일 프리앰블-코드북 연관 구조에서는 도 2와 마찬가지로 코드북 기반의 확산 방식인 SCMA에 대한 모 코드북 세트는 $\tilde{\mathbf{c}} = \{\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{J-1}\}$ 와 같이 J개 코드북으로 정의될 수 있다. 여기서 j번째 코드북은 $\mathbf{c}_j (j = 0, \dots, J-1)$ 로 정의되고, 각 $\mathbf{c}_j$ 는 K차원의 M개 코드워드로 구성되며, M개의 코드워드 중 m번째 코드워드를 벡터 $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbb{C}^K$ 로 나타내면, j번째 코드북은 $\mathbf{c}_j = \{\mathbf{c}_0^{(j)}, \mathbf{c}_1^{(j)}, \dots, \mathbf{c}_{M-1}^{(j)}\}$ 로 주어진다. 각 코드워드에서 0이 아닌 요소를 N개라고 할 때, $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbb{C}^K$ 는 NK인 희소 벡터(sparse vector)를 나타낸다. 각 코드워드의 나머지 K-N개의 요소는 0의 값을 가질 수 있다. 도 3에 따른 다대일 프리앰블-코드북 연관 구조에서는 도 2와 다르게 하나의 코드북 $\mathbf{c}_i$ 가 L개의 프리앰블 $\mathbf{p}_0^{(j)}, \mathbf{p}_1^{(j)}, \dots, \mathbf{p}_{L-1}^{(j)}$ 과 연관되는 것이 도시되어 있다. 각 활성화 사용자는 J개의 코드북 중 하나의 코드북을 선택하고, 다시 선택된 코드북과 연관된 L 개의 프리앰블 중 하나를 선택하여 상향링크를 전송하며, 앞서 설명한 바와 같이 여러 활성화 사용자가 사용한 코드북이 동일한 경우에도 프리앰블이 다르다면 기지국이 데이터를 구분하여 수신할 수 있으므로, 각 코드북과 연관된 프리앰블이 하나인 경우와 비교하면 기지국의 데이터 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

[0050] 한편, GF-SCMA 시스템에서 경쟁 기반의 전송이 수행되는 시간 구간은 비예약 전송 기회 구간(grant-free transmission opportunity interval)으로 정의된다. 활성화 사용자는 비예약 전송 기회 구간 내에서 자원 예약 없이 경쟁 기반의 상향링크 전송을 수행할 수 있다. 하나의 비예약 전송 기회 구간은 실제로 경쟁 기반 상향링크 전송이 수행되는 물리적 시간-주파수 자원 영역을 나타내는 복수 개의 경쟁 영역(contention region)을 포함할 수 있다. 활성화 사용자는 주어진 비예약 전송 기회 구간에 포함된 복수 개의 경쟁 영역에 걸쳐 분산되어 상향링크 전송을 수행할 수 있다. 이러한 경쟁 영역에서의 경쟁 기반 전송은 경쟁 전송 단위(contention

transmission unit, CTU)를 기반으로 이루어진다. CTU는 GF-SCMA 시스템에서 경쟁 기반의 전송이 수행되는 단위로서 시간 자원(일 예로, slot), 주파수 자원(일 예로, subband), 프리앰블(preamble) 및 코드북(codebook)의 조합을 통해 정의될 수 있다.

[0051] 경쟁 과정에서 프리앰블의 충돌을 완화하기 위해 하나의 경쟁 영역에 접근하는 사용자 수를 제어할 수도 있으나, 이와 더불어 충분한 수의 프리앰블을 지정해야 한다. 하지만 프리앰블 별로 고유의 NOMA 확산 수열(코드북)이 지정된다면, SCMA와 같이 사용가능한 코드북의 수가 제한된 경우에는 프리앰블 수의 제약으로 충돌 확률이 높아진다. 이러한 한계를 극복하기 위해 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association)을 통해 각 코드북에 대해 서로 다른 복수 개의 다른 프리앰블을 연관시켜 지정할 수 있다.

[0052] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다대일 프리앰블-코드북 연관(many-to-one preamble-to-codebook association) 구조가 적용된 GF-SCMA 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0053] 도 4를 참조하면, 하나의 비예약 전송 기회 구간은 N_T 개의 경쟁 영역(contention region)으로 구성되고, 각 경쟁 영역에서 CTU가 정의되는 것이 도시되어 있다. 사용자는 주어진 전송 구간에서 N_T 개의 경쟁 영역에 걸쳐 분산되어 전송을 수행할 수 있다. 이 때 각 경쟁 영역에서는 J개의 SCMA 코드북 $\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{J-1}$ 이 정의되고, 각 코드북 $\mathbf{c}_i$ 에는 L개의 프리앰블 $p_0^{(j)}, p_1^{(j)}, \dots, p_{L-1}^{(j)}$ 이 서로 연관되어 정의될 수 있다. 따라서, 하나의 경쟁 영역에는 총 $N_R = J \cdot L$ 개의 CTU가 정의될 수 있다. 각 경쟁 영역에서 전송을 수행하는 활성 사용자는 사용 가능한 J개의 SCMA 코드북 중의 하나를 무작위로 선택하고, 선택된 코드북과 연관된 프리앰블들 중 하나를 이용하여 상향링크 전송을 수행할 수 있다. 기지국이 활성 사용자의 프리앰블을 성공적으로 검출하면 이를 이용하여 활성 사용자의 채널을 추정할 수 있고, 또한 사용자가 어떤 코드북을 선택한 것인지를 확인하여 후속적으로 다중 사용자 검출(MUD) 절차를 수행할 수 있다. 이와 같이 코드북 별로 다수 개의 프리앰블을 지정하여 CTU 수를 증대함으로써 GF-NOMA를 위한 상향링크 처리율을 높일 수 있다.

[0054] 앞서 도 3을 통해 설명한 것과 유사하게, GF-SCMA 시스템의 모 코드북 세트는 $\tilde{\mathbf{c}} = \{\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{J-1}\}$ 와 같이 J개 코드북으로 정의될 수 있다. 여기서 j번째 코드북은 $\mathbf{c}_j (j = 0, \dots, J-1)$ 로 정의되고, 각 $\mathbf{c}_i$ 는 K차원의 M개 코드워드로 구성될 수 있다. M개의 코드워드 중 m번째 코드워드를 벡터 $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbb{C}^K$ 로 나타내면, j번째 코드북은 $\mathbf{c}_j = \{\mathbf{c}_0^{(j)}, \mathbf{c}_1^{(j)}, \dots, \mathbf{c}_{M-1}^{(j)}\}$ 로 주어진다. 각 코드워드에서 0이 아닌 요소를 $\mathbb{J}$ 개라고 할 때, $\mathbf{c}_m^{(j)} \in \mathbb{C}^K$ 는 $N < K$ 인 희소 벡터(sparse vector)를 나타낸다. 동일한 경쟁 영역에 N_u 명의 사용자가 할당된 상황을 가정할 때 해당 N_u 명의 사용자는 전송 기회 구간 내에서 동일한 경쟁 영역에서 CTU를 선택한다. 여기서 N_u 는 인덱스 $n \in \{0, 1, \dots, N_u - 1\}$ 로 식별되는 사용자의 수를 나타낸다. N_u 명의 사용자 중에서 활성 사용자는 주어진 경쟁 영역에서 정의된 CTU 중의 하나를 무작위로 선택하여 시간 동기화된 기지국에 프리앰블 및 데이터 심볼을 전송할 수 있다.

[0055] 본 발명은 다대일 프리앰블-코드북 연관 구조가 적용된 GF-SCMA 시스템을 고려하였을 때, 최대 λ 개의 코드북 충돌을 해결할 수 있는 기지국 수신기의 학습 방법, 그리고 이에 기반한 기지국 수신기의 다중 사용자 검출 방법 및 이를 위한 장치를 제안한다. 여기서 기지국 수신기가 최대 λ 개의 코드북 충돌을 해결한다는 것은 최대 λ 명의 사용자가 동일한 코드북을 사용하여 상향링크 데이터를 전송한 경우에도 기지국이 이를 구분하여 각 사용자의 데이터를 검출할 수 있다는 것을 의미할 수 있다. 예를 들어, $\lambda = 1$ 인 경우는 기지국이 최대 1개까지의 코드북 충돌만을 허용하며 이는 곧 기지국이 동일한 코드북을 사용하여 전송한 2개 이상의 데이터 신호를 검출할 수 없음을 의미한다. 다른 예시로, $\lambda = 2$ 인 경우 기지국이 최대 2개까지 동일한 코드북을 사용하여 전송한 데이터 신호를 검출할 수 있음을 의미하고, $\lambda = 3$ 인 경우 기지국이 최대 3개까지의 동일한 코드북을 사용하여 전송한 데이터 신호를 검출할 수 있음을 의미한다. 즉, $\lambda \geq 2$ 인 경우, 기지국은 코드북 충돌을 해결할 수 있는 능력을 가지며 2개 이상 최대 λ 개까지의 데이터가 동일한 코드북을 사용하여 전송되더라도 각 사용자 별 데이터 신호를 검출할 수 있음을 의미한다.

- [0056] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 기지국 수신기 학습을 위한 가상의 송수신 모델을 나타낸 도면이다.
- [0057] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 가상의 송수신 모델은 송신단(510) 및 수신단(520)으로 구성될 수 있다. 다만 도 5에서 도시된 송수신 모델은 기지국이 최대 λ 개의 코드북 충돌을 해결할 수 있도록 수신단을 학습하기 위해 설계된 가상의 모델로서, 실제 본 발명이 적용되는 송신단 및 수신단의 형태가 도 5에 도시된 형태로 한정되지 않음에 유의한다.
- [0058] 본 발명의 설명에서는 GF-SCMA 기반의 상향링크 전송을 가정하므로 송신단(510)은 복수의 사용자로 구성될 수 있다. 수신단(520)은 송신단(510)으로부터 전송된 상향링크를 수신하는 기지국일 수 있다. 따라서 이하 도 5를 참조한 설명에 있어서 사용자에 대한 설명은 송신단(510)에 대하여 적용될 수 있고, 기지국에 대한 설명은 수신단(520)에 대하여 적용될 수 있으며, 반대의 경우에도 마찬가지로 적용될 수 있다.
- [0059] 일 실시 예에 따르면, 송신단(510)은 J개의 코드북이 λ 번 반복되는 형태로 $N_u = \lambda J$ 의 사용자로 구성됨이 가정된다. 이 때 $N_u = \lambda J$ 명의 사용자는 round-robin 방식으로 $v(n) = \text{mod}(n, J)$ 번째 코드북을 고유하게 할당 받을 수 있으며, 따라서 하나의 코드북이 λ 명의 사용자에게 동일하게 할당될 수 있다. 예를 들어, 코드북 0는 사용자 0, 사용자 J, 째 사용자 $(\lambda - 1)J$ 에 해당하는 λ 명의 사용자에게 할당되고, 코드북 J-1은 사용자 (J-1), 사용자 $2J-1$, 째 사용자 $\lambda J - 1$ 에 해당하는 λ 명의 사용자에게 할당될 수 있다. 수신단이 최대 λ 개까지의 코드북 충돌을 해결할 수 있으며 하므로, 전송한 송신단 모델을 통해 수신단에서는 최악의 경우로서 λ 개의 코드북 충돌이 겪는 상황에 대해 학습을 수행할 수 있다. 또한 각 사용자에게는 고유의 프리앰블을 할당함으로써 송신단에서 사용하는 프리앰블의 충돌은 일어나지 않는 상황을 가정한다.
- [0060] 송신단의 전체 $N_u = \lambda J$ 명의 사용자 중 활성 사용자는 자신에게 할당된 코드북에서 N_a 개의 K 차원 M-ary 코드워드를 선택하여 데이터를 전송할 수 있다. 이 때, 전체 $N_u = \lambda J$ 명의 사용자 중 각 사용자가 활성 상태일 확률은 Bernoulli 분포를 따른다고 가정된다. 도 5에서 $\delta_n \in \{0, 1\}$ 은 n번째 사용자의 활성 지시자이며, $\delta_n = 1$ 은 사용자가 p_n 의 확률로 활성화된 것을 나타내고 $\delta_n = 0$ 은 $(1 - p_n)$ 의 확률로 사용자가 활성화되지 않음을 나타낸다. 모든 사용자의 활성 상태를 나타내는 활성 지시자는 활성 벡터 $\delta = [\delta_0, \delta_1, \dots, \delta_{N_u-1}]^T$ 에 의해 나타낼 수 있다.
- [0061] 각 활성 사용자가 전송하는 프리앰블 및 데이터를 통해 정의되는 CTU는 페이딩(fading) 채널(530)을 겪으며 기지국으로 전송된다. n 번째 사용자의 채널을 $h_n \in \mathbb{C}^K$ 로 나타냈을 때, 모든 사용자의 채널은 벡터 $\mathbf{h} = [h_0^T, h_1^T, \dots, h_{\lambda J-1}^T]^T$ 로 주어진다.
- [0062] 채널(530)을 거쳐 수신단(520)에서 수신되는 프리앰블과 데이터의 수신 신호인 $\mathbf{y}^{(p)}$ 와 $\mathbf{y}^{(d)}$ 는 각각 [수학식 1], [수학식 2]와 같이 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\mathbf{y}^{(p)} = \sum_{n=0}^{\lambda J-1} \delta_n \text{diag}(\mathbf{h}_n) \mathbf{p}^{(n)} + \mathbf{n}^{(p)}$$

[0063]

수학식 2

$$\mathbf{y}^{(d)} = \sum_{n=0}^{\lambda J-1} \delta_n \text{diag}(\mathbf{h}_n) \mathbf{w}^{v(n)} + \mathbf{n}^{(d)}$$

[0064]

- [0065] [수학식 1] 및 [수학식 2]에서, $\mathbf{n}^{(p)} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_K)$ 와 $\mathbf{n}^{(d)} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_K)$ 는 가산 가우시안 백색 잡음(additive white Gaussian noise; AWGN) 벡터를 나타낸다.
- [0066] 일 실시 예에 따르면, 수신단(520)은 [수학식 1] 및 [수학식 2]에 따른 수신 신호 $\mathbf{y}^{(p)}$ 와 $\mathbf{y}^{(d)}$ 를 기반으로 다중 사용자 검출(multi-user detection, MUD)를 수행하여 각 활성 사용자에게 대한 데이터를 검출할 수 있다. 이를 위한 본 발명의 실시 예에 따른 수신단(520)은 활성 사용자 검출부(522), 채널 추정부(524) 및 다중 사용자 검출부(526)를 포함할 수 있다. 도 5에서 도시하지는 않았으나, 수신단(520)은 프리앰블과 데이터의 수신 신호인 $\mathbf{y}^{(p)}$ 와 $\mathbf{y}^{(d)}$ 를 수신하는 송수신부를 포함할 수 있다. 송수신부는 $\mathbf{y}^{(p)}$ 와 $\mathbf{y}^{(d)}$ 를 수신하고, 이를 활성 사용자 검출부(522), 채널 추정부(524) 및/또는 다중 사용자 검출부(526)에 전달할 수 있다.
- [0067] 활성 사용자 검출부(522)는 프리앰블의 수신 신호인 $\mathbf{y}^{(p)}$ 로부터 활성 프리앰블을 검출하여 어떤 사용자가 활성 상태인지 검출할 수 있다. 활성 사용자 검출부(522)의 검출 결과로서 획득되는 활성 사용자 정보는 벡터 $\hat{\delta} = [\hat{\delta}_0, \hat{\delta}_1, \dots, \hat{\delta}_{M-1}]^T$ 로 주어지며, $\hat{\delta}_n = 1$ 은 n 번째 사용자가 활성 상태로 검출되었음을 나타내고 $\hat{\delta}_n = 0$ 은 n 번째 사용자가 비활성 상태로 검출되었음을 나타낸다. 이 때, 활성 사용자의 프리앰블은 앞서 도 2 내지 도 4에서 설명한 바와 같이 코드북과 연관되어 있으므로, 데이터 전송에 사용되는 활성 코드북으로부터 사용자의 활성 정보를 검출할 수 있다면 연관된 프리앰블을 기반으로 활성 정보를 검출하는데 도움을 줄 수 있다. 일 예로, 본 발명의 실시 예에 따른 활성 사용자 검출부(522)는 프리앰블 기반의 활성 사용자 검출부의 성능을 높이기 위해 코드북을 통해 확산된 활성 사용자들의 중첩된 데이터 심볼을 함께 활용하여 각 사용자의 활성 상태를 검출할 수도 있다.
- [0068] 채널 추정부(524)는 활성 사용자 검출부(522)를 통해 검출된 활성 사용자로부터 수신된 프리앰블을 기반으로 채널 추정(channel estimation, CE)을 수행할 수 있다. n번째 사용자에게 대해 추정된 채널을 $\hat{\mathbf{h}}_n \in \mathbb{C}^K$ 라고 하면, 전체 활성 사용자에게 대해 추정된 채널을 나타내는 채널 정보는 $\hat{\mathbf{h}}_{\hat{\delta}} = [\hat{\delta}_0 \hat{\mathbf{h}}_0^T, \hat{\delta}_1 \hat{\mathbf{h}}_1^T, \dots, \hat{\delta}_{M-1} \hat{\mathbf{h}}_{M-1}^T]^T$ 로 나타낼 수 있다. $\hat{\mathbf{h}}_{\hat{\delta}}$ 는 각 사용자의 채널에 사용자의 활성 상태가 반영되어 추정된 채널 정보로서, $\hat{\delta}_j \hat{\mathbf{h}}_j^T$ 는 j번째 사용자가 활성 상태로 검출된 경우($\hat{\delta}_j = 1$) 해당 사용자에게 대해 추정된 채널에 대응되는 $\hat{\mathbf{h}}_j^T$ 의 값을 가지고, j 번째 사용자가 비활성 상태로 검출된 경우($\hat{\delta}_j = 0$) 0의 값을 가진다.
- [0069] 다중 사용자 검출부(526)는 수신된 데이터 신호로부터 활성 사용자들에 대한 데이터를 검출할 수 있다. 수신단(520)에서 활성 사용자로부터 수신된 활성 프리앰블을 검출하는 과정에서 해당 프리앰블과 연관된 코드북을 알 수 있게 되며, 다중 사용자 검출부(526)는 해당 코드북 및 추정된 채널을 이용하여 다중 사용자 검출을 수행할 수 있다.
- [0070] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른 수신단이 송신단으로부터 송신된 프리앰블 및 데이터를 수신하는 과정을 나타낸 순서도이다.
- [0071] 도 6을 참조하면, 610 단계에서 수신단의 송수신부(미도시)는 송신단을 구성하는 사용자들 중 복수의 활성 사용자로부터 프리앰블 및 데이터를 수신할 수 있다(610). 각 활성 사용자가 전송한 프리앰블 및 데이터는 페이딩 채널을 거쳐 수신단에서 수신되며, 이 때 수신단에서 수신된 프리앰블 신호 $\mathbf{y}^{(p)}$ 및 데이터 신호는 $\mathbf{y}^{(d)}$ 는 [수학식 1] 및 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.
- [0072] 620 단계에서 수신단의 활성 사용자 검출부(522)는 수신된 프리앰블 신호 $\mathbf{y}^{(p)}$ 를 기반으로 송신단을 구성하는 사용자들 중 실제 프리앰블 및 데이터 전송을 수행한 활성 사용자를 검출하고, 이를 통해 활성 사용자 정보를 획득할 수 있다(620). 활성 사용자의 프리앰블은 코드북과 연관되어 있으므로, 데이터 전송에 사용되는 활성 코드북으로부터 사용자의 활성 정보를 검출할 수 있다면 연관된 프리앰블을 기반으로 활성 정보를 검출하는데 도움을 줄 수 있으며, 따라서 620 단계에서 활성 사용자를 검출하는 단계는, 프리앰블 신호 $\mathbf{y}^{(p)}$ 뿐만 아니라 데이터 신호 $\mathbf{y}^{(d)}$ 를 함께 이용하여 활성 사용자를 검출할 수도 있다.
- [0073] 630 단계에서 수신단의 채널 추정부(524)는 상기 복수의 활성 사용자와 관련된 채널을 추정하여 채널 정보를 획득할 수 있다(630).
- [0074] 640 단계에서, 수신단의 다중 사용자 검출부(526)는 620 단계를 통해 획득된 활성 사용자 정보 및 630 단계를

통해 획득된 채널 정보를 이용하여 복수의 활성 사용자 중 각 활성 사용자에 대한 데이터를 검출할 수 있다.

[0075] 비예약 전송 사용자들이 임의로 코드북을 선택하여 전송하는 과정에서 코드북 충돌이 일어날 수 있기 때문에, 다중 사용자 검출부(526)는 이러한 코드북 충돌을 고려한 다중 사용자 검출을 수행할 필요가 있다. 이를 충돌 인지 다중 사용자 검출(collision-aware MUD, CA-MUD)이라고 한다. 이를 위해, 본 발명의 일 실시 예에 따른 다중 사용자 검출부(526)는 코드북 충돌을 고려하여 다중 사용자 검출을 수행하는 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527) 및 전처리부(528)를 포함할 수 있다.

[0076] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른 딥러닝 기반의 충돌 인지 다중 사용자 검출부의 구조를 나타낸 도면이다.

[0077] 도 7을 참조하면, 딥러닝 기반의 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)의 구조는 최대 λ 개 코드북 충돌을 디코딩할 수 있도록 설계된다. 따라서, 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)는 여러 활성 사용자가 중복해서 코드북을 선택함으로써 최대 λ 개의 코드북 충돌이 발생하는 상황을 처리할 수 있어야 한다. 따라서 본 발명의 실시 예에 따른 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)는, 다중 사용자 공유 계층(multi-user shared layer) 이후 λ 개의 중복된 사용자 특정 계층(user-specific layer)를 도입함으로써, 도 7과 같은 2 단계 구조를 가질 수 있다.

[0078] GF-SCMA 시스템에서 기지국에서 수신되는 코드북의 조합은 계속 변경될 수 있다. 이 과정에서 일부 코드북이 비활성될 수도 있으므로, 이것이 도 7의 사용자 특정 계층의 출력 레이블(label)에 적절히 반영될 필요가 있다. 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)는 코드북에 존재하는 M 개의 코드 워드 외에 추가로 0에 대한 레이블을 하나 추가하여 총 $(M+1)$ 길이의 one-hot vector $\mathbf{r}^{(n)} = [r_{n0}, r_{n1}, \dots, r_{nM}]^T$ 를 생성할 수 있다. 예를 들어, $M = 4$ 일 때 n 번째 사용자의 코드북이 비활성이면 $\mathbf{r}^{(n)} = [1, 0, 0, 0, 0]^T$ 이고, 활성화되면 $\mathbf{r}^{(n)} = [0, 1, 0, 0, 0]^T$ 부터 $[0, 0, 0, 0, 1]^T$ 중 하나를 전송 신호에 대한 레이블로서 고려한다. 그 후, 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)를 학습하기 위한 손실 함수는 다음 [수학식 3] 및 [수학식 4]와 같이 cross-entropy의 합으로 정의될 수 있다.

수학식 3

$$L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{s}}) = \sum_{n=0}^{\lambda J-1} L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)})$$

[0079]

수학식 4

$$L_n(\mathbf{r}^{(n)}, \hat{\mathbf{s}}^{(n)}) = - \sum_{m=0}^M r_{nm} \log(\hat{s}_{nm})$$

[0080]

[0081] 여기서 $\mathbf{r}$ 과 $\hat{\mathbf{s}}$ 는 각각 $\mathbf{r} = [(\mathbf{r}^{(0)})^T, (\mathbf{r}^{(1)})^T, \dots, (\mathbf{r}^{(\lambda J-1)})^T]^T$ 와 $\hat{\mathbf{s}} = [(\hat{\mathbf{s}}^{(0)})^T, (\hat{\mathbf{s}}^{(1)})^T, \dots, (\hat{\mathbf{s}}^{(\lambda J-1)})^T]^T$ 로 주어진다. 여기서 $\{\hat{\mathbf{s}}^{(i)}\}_{i=0}^{\lambda J-1}$ 는 사용자 특정 계층의 출력 벡터를 나타내고, $\{\hat{\mathbf{r}}^{(i)}\}_{i=0}^{\lambda J-1}$ 는 $\{\hat{\mathbf{s}}^{(i)}\}_{i=0}^{\lambda J-1}$ 벡터의 최대 값을 1로, 나머지를 0으로 변환한 원-핫 벡터(one-hot vector)를 나타낸다. 이 때, 본 발명의 실시 예에 따른 CA-MUD에서는 모든 충돌 상황을 고려하기 위해 $\lambda = N_a$ 로 설정되며, 이 때 출력 벡터의 차원은 ~~max~~이다. 그 후, $\{\hat{\mathbf{s}}^{(i)}\}_{i=0}^{\lambda J-1}$ 는 one-hot vector $\{\hat{\mathbf{r}}^{(i)}\}_{i=0}^{\lambda J-1}$ 로 변경되어 각 활성 사용자의 M -ary 코드워드로 변경하고, 이 코드워드를 한 번 더 디코딩하여 사용자의 전송 비트 $\mathbf{b}^{(n)} \in \mathbf{B}^{\log_2 M}$ 를 검출할 수 있다.

[0082] 학습 데이터 세트에 대한 한 예로, 다음과 같은 트리-프루닝(tree-pruning)기반의 학습 데이터 세트를 고려할 수 있다. 먼저 주어진 $\{0, 1, \dots, J-1\}$ 개의 코드북에 대해 N_{cc} 개의 코드북 활성 조합을 고려한다. 그 후,

각 코드북 활성 조합에 대해 M -ary 코드워드와 활성도를 나타내는 $(M + 1)$ 길이의 one-hot 벡터를 할당한다. 마지막으로, 순서를 바꿨을 때 동일한 코드북 조합이 없도록(permutation invariant: 순열 불변) 중복되는 코드북 조합을 삭제한다. 각 N_a 개가 활성화된 코드북 조합에 M^{N_a} 개의 가능한 코드워드 조합이 있으므로 총 데이터의 개수는 $N_{CC} \cdot M^{N_a}$ 개이다. 이 때 데이터 세트는 모든 코드북 충돌을 검출하기 위한 것으로 설정될 수 있다. 이상 설명한 데이터 생성 방식은 하나의 예시로서, 본 발명의 범위를 제한하지 않는다.

[0083] GF-SCMA 시스템에서 활성 코드북과 채널이 활성 사용자 검출부(524)에 의해 검출된 활성 사용자, 즉 $\hat{\delta}$ 에 따라 변화한다. 따라서, 본 발명의 일 실시 예에 따른 다중 사용자 검출부(526)는 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에 의해 수행되는 CA-MUD 절차가 효과적으로 수행될 수 있도록 하기 위해 활성 코드북과 해당 코드북의 채널을 통해 채널 변조 코드북(channel modulated codebook) 벡터를 생성하고, 생성된 채널 변조 코드북이 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에 입력되도록 입력 전처리(input pre-processing) 과정을 수행하는 전처리부(528)를 포함할 수 있다.

[0084] 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 전처리부의 채널 변조된 코드북 생성 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0085] 도 8을 참조하면, 전처리부(528)는 우선 모 코드북 세트의 각 J 개의 코드북 $\tilde{\mathbf{c}} = \{\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{J-1}\}$ 을 벡터화(vectorize)할 수 있다. j 번째 코드북 $\tilde{\mathbf{c}}_j$ 는 $\tilde{\mathbf{c}}_j = [(\mathbf{c}_1^{(j)})^T, (\mathbf{c}_2^{(j)})^T, \dots, (\mathbf{c}_M^{(j)})^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M}$ 와 같이 벡터화 될 수 있다. 수신 프리앰블을 통해 활성 사용자 검출부(522)로부터 파악된 N_a 개의 활성화된 코드북 세트들 $\mathcal{S} = \{\mathbf{c}_{i_1}, \mathbf{c}_{i_2}, \dots, \mathbf{c}_{i_{N_a}}\}$ 라고 하면, 전처리부(528)는 N_a 개의 활성 코드북 세트를 연결(concatenation)하여 활성 코드북 벡터(active codebook vector) $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{c}}_{i_1}^T, \tilde{\mathbf{c}}_{i_2}^T, \dots, \tilde{\mathbf{c}}_{i_{N_a}}^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 생성할 수 있다.

[0086] 한편, 활성 코드북 $\mathbf{c}_{i_r}$ 에 대한 채널을 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_r} \in \mathbb{C}^K$ 라고 하면, 전처리부(528)는 이러한 활성 코드북의 채널 벡터를 M 번 반복하여, 활성 코드북 $\mathbf{c}_{i_r}$ 의 반복 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_r} = [\tilde{\mathbf{h}}_{i_r}^T, \tilde{\mathbf{h}}_{i_r}^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{i_r}^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M}$ 를 생성할 수 있다. 이후 전처리부(528)는 각 활성 코드북에 대한 반복 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_r}$ 를 연결하여 활성 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{h}}_{i_1}^T, \tilde{\mathbf{h}}_{i_2}^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{i_{N_a}}^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 생성할 수 있다. 그 후, 전처리부(528)는 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a}$ 와 $\tilde{\mathbf{h}}_{N_a}$ 을 기반으로 채널 변조 코드북 벡터 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{h}}_{N_a}) \cdot \tilde{\mathbf{c}}_{N_a} \in \mathbb{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 생성할 수 있다. 마지막으로, 전처리부(528)는 채널 변조 코드북 벡터를 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에 입력하기 위해 실수 벡터(real number vector) $\hat{\mathbf{c}}_{N_a} = [\text{Re}(\tilde{\mathbf{c}}), \text{Im}(\tilde{\mathbf{c}})] \in \mathbb{R}^{2K \cdot M \cdot N_a}$ 로 변환한다. 이렇게, 기지국에서 생성한 실수 채널 변조 코드북 벡터 $\hat{\mathbf{c}}_{N_a}$ 와 $\mathbf{y}^{(d)}$ 를 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에 입력함으로써 채널과 코드북을 동시에 활용한 CA-MUD를 수행할 수 있다.

[0087] 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에는 수신 데이터 $\mathbf{y}^{(d)}$ 뿐만 아니라 전처리부(528)에서 생성된 채널 변조 코드북이 함께 입력될 수 있다. 이로 인해 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)는 입력된 현재 활성화된 채널 변조 코드북 정보를 기준으로 $\mathbf{y}^{(d)}$ 에 어떤 코드워드가 중첩되어 전송했는지 검출하는 역할만을 학습함으로써 $\hat{\mathbf{h}}_{\hat{\delta}}$ 를 직접 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)에 입력으로 넣는 것과 비교하여 학습 효율이 증가할 수 있다.

[0088] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 2개의 코드북이 활성화된 상황에서 채널 변조 코드북을 생성하는 절차를 나타낸 도면이다.

[0089] 구체적으로, 도 9는 2개의 코드북 $\mathcal{S} = \{\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1\}$ 가 활성화되었을 때 전처리부(526)가 CA-MUD를 위한 채널 변조 코드북 벡터 $\hat{\mathbf{c}}_{N_a}$ 를 생성하는 과정을 예시한 것이다. 먼저, 전처리부(526)는 활성 사용자 검출부(522)로부터 전달 받은 활성 코드북 인덱스 $\mathcal{S} = \{\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1\}$ 를 통해, 활성 코드북 벡터 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{c}}_0^T, \tilde{\mathbf{c}}_1^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 생성할 수 있다. 또한, 전처리부(526)는 채널 추정부(524)에서 생성한 활성 코드북의 추정 채널 벡터를 $\{\tilde{\mathbf{h}}_0, \tilde{\mathbf{h}}_1\} \in \mathbb{C}^{K \cdot M}$ M 번 반복하여 활성 코드북의 반복 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_0 = [\tilde{\mathbf{h}}_0^T, \tilde{\mathbf{h}}_0^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_0^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M}$ 와 $\tilde{\mathbf{h}}_1 = [\tilde{\mathbf{h}}_1^T, \tilde{\mathbf{h}}_1^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_1^T]^T \in \mathbb{C}^{K \cdot M}$ 를

생성할 수 있다. 그 후, 전처리부(526)는 각 활성 코드북의 반복 채널 벡터를 연결하여 활성 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{h}}_0^T, \tilde{\mathbf{h}}_1^T]^T \in \mathcal{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 생성하며, 채널 변조 코드북 벡터를 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{h}}_{N_a}) \cdot \tilde{\mathbf{c}}_{N_a} \in \mathcal{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 와 같이 생성할 수 있다. 마지막으로, 전처리부(526)는 널 변조 코드북 벡터를 실수로 변환한 실수 채널 변조 코드북 벡터를 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = [\text{Re}(\tilde{\mathbf{c}}), \text{Im}(\tilde{\mathbf{c}})] \in \mathcal{R}^{2K \cdot M \cdot N_a}$ 와 같이 생성하여 이를 $\mathbf{y}^{(d)}$ 함께 충돌 인지 다중 사용자 검출부의 입력으로 사용할 수 있다.

[0090] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 충돌 인지 다중 사용자 검출(CA-MUD)에 기반한 각 활성 사용자에게 대한 데이터를 검출하는 과정을 나타낸 도면이다.

[0091] 1010 단계에서 다중 사용자 검출부(526)의 전처리부(528)는, CA-MUD가 효과적으로 수행될 수 있도록 활성 코드북, 그리고 활성 코드북의 채널을 통해 채널 변조 코드북(channel modulated codebook) 벡터를 생성하고, 생성된 채널 변조 코드북을 통해 CA-MUD를 수행할 수 있도록 입력 전처리(input pre-processing) 과정을 수행할 수 있다.

[0092] 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 채널 변조 코드북 정보를 획득하기 위한 전처리 과정을 나타낸 도면이다.

[0093] 1110 단계에서, 전처리부는 활성 코드북에 대한 정보를 획득할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, N_a 개의 활성 코드북 세트 $\mathcal{S} = \{\mathbf{c}_{i_1}, \mathbf{c}_{i_2}, \dots, \mathbf{c}_{i_{N_a}}\}$ 에 대해, 해당 N_a 개의 활성 코드북 세트를 채널 변조 코드북 정보 획득을 위한 연산에 사용될 수 있도록 연결하여 활성 코드북 벡터 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{c}}_{i_1}^T, \tilde{\mathbf{c}}_{i_2}^T, \dots, \tilde{\mathbf{c}}_{i_{N_a}}^T]^T \in \mathcal{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 활성 코드북에 대한 정보로서 획득할 수 있다.

[0094] 1120 단계에서, 전처리부는 활성 코드북과 연관된 채널에 대한 정보를 획득할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 활성 코드북 $\mathbf{c}_{i_x}$ 에 대한 채널을 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_x} \in \mathcal{C}^K$ 라고 하면, 이러한 활성 코드북의 채널 벡터가 M 번 반복된 반복 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_x} = [\tilde{\mathbf{h}}_{i_x}^T, \tilde{\mathbf{h}}_{i_x}^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{i_x}^T]^T \in \mathcal{C}^{K \cdot M}$ 를 생성하고, 해당 반복 채널 벡터가 채널 변조 코드북 획득을 위한 연산에 사용될 수 있도록 반복 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{i_x}$ 를 연결하여 활성 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{N_a} = [\tilde{\mathbf{h}}_{i_1}^T, \tilde{\mathbf{h}}_{i_2}^T, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{i_{N_a}}^T]^T \in \mathcal{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 를 활성 코드북과 연관된 채널에 대한 정보로서 획득할 수 있다.

[0095] 1130 단계에서, 전처리부는 1110 단계에서 획득된 활성 코드북의 코드워드를 연결하여 생성한 활성 코드북 벡터 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a}$, 그리고 1120 단계에서 획득된 활성 코드북과 연관된 채널을 연결하여 생성한 활성 채널 벡터 $\tilde{\mathbf{h}}_{N_a}$ 를 기반으로 채널 변조 코드북 정보를 $\tilde{\mathbf{c}}_{N_a} = \text{diag}(\tilde{\mathbf{h}}_{N_a}) \cdot \tilde{\mathbf{c}}_{N_a} \in \mathcal{C}^{K \cdot M \cdot N_a}$ 와 같이 획득할 수 있다. 획득된 채널 변조 코드북 정보는 충돌 인지 다중 사용자 검출부의 입력으로 사용하기 위해 실수(real) 벡터로 변환될 수 있다.

[0096] 다시 도 10에 대한 설명으로 돌아가서, 1020 단계에서 다중 사용자 검출부(526)의 충돌 인지 다중 사용자 검출부(527)은, 복수의 활성 사용자로부터 수신된 데이터 및 전처리부(528)로부터 전달된 채널 변조 코드북 정보를 이용하여 각 활성 사용자에게 대한 데이터를 검출할 수 있다.

[0097] 도 12 및 도 13는 본 발명의 다양한 실시 예들에 따른 시뮬레이션 결과 나타낸 그래프이다.

[0098] 본 시뮬레이션에서는 비직교 확산 수열로서 SCMA 코드북을 사용하는 GF-SCMA 시스템을 고려한다. 이때 SCMA 코드북은 $K = 4$ 개 자원에 $J = 6$ 개의 $M = 4$ -ary 코드북을 사용한다. 또한, 본 시뮬레이션에서는 활성 사용자의 수 N_a 가 $N_a = \lambda \geq 2$ 인 상황을 가정한다. 즉, N_a 명의 사용자가 활성 되었을 때, CA-MUD가 $\lambda = N_a$ 의 모든 코드북 충돌을 수신하는 최악의 성능을 고려한다. Baseline MUD는 입력 전처리를 수행하지 않고, 채널 $\tilde{\mathbf{h}}_0$ 를 입력으로 갖는다. Baseline MUD와 CA-MUD 모두 3개의 계층으로 구성된 다중 사용자 공유 계층(multi-user-shared layers)와 사용자 특정 계층(user-specific layers)를 갖고, 각 계층의 노드 수는 $\{D_0^{(M)}, D_1^{(M)}, D_2^{(M)}\} = \{512, 512, 256\}$ 와 $\{D_0^{(S)}, D_1^{(S)}, D_2^{(S)}\} = \{128, 128, 64\}$ 로 설정한다.

[0099] 본 시뮬레이션에서는 각 사용자들이 동일하게 분포된 상향링크 레일리 페이딩(fading) 채널을 겪는다고 가정한다. 또한, 네트워크 학습 시에 E_b/N_0 값이 $\{8, 10, 12, 14, 16\}$ 의 크기를 갖도록 가산성 가우시안 잡음

(additive white Gaussian noise: AWGN)이 적용되었으며, 이 때 각 E_b/N_0 에서 $2 \cdot 10^5$ 의 랜덤 데이터를 생성하여 학습한다. 이상적인 활성 사용자 검출과 채널 추정 하에서 수신단은 완벽한 $\hat{\mathbf{c}}_n$ 를 생성한다고 가정한다. Adaptive Moment Estimation (Adam) optimizer를 사용하며, 배치 크기 2000, 그리고 2000번의 training epoch를 가정한다. 또한 learning rate = 0.001로 1000번의 epochs를 학습하며, 나머지 1000번의 epoch에는 learning rate = 0.0001로 낮춘다. [수학식 3]과 [수학식 4]에서 제안한 손실 함수를 통해 CA-MUD를 사용하며, $5 \cdot 10^4$ 개의 데이터 샘플로 평균 비트 오류율(bit error rate: BER)을 계산하였다.

[0100] 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른 2개의 코드북이 활성화된 경우 코드북 조합에 따른 평균 BER 성능을 나타낸 도면이다.

[0101] 도 12를 참조하면, 2개의 코드북이 활성화되었을 때, 모든 코드북 조합에 따른 BER을 나타낸다. $N_a = 2$ 의 모든 $N_{cc} = 21$ 개의 코드북 활성 조합을 검출하기 위해 $\lambda = 2$ 의 CA-MUD를 고려한다. $N_a = 2$ 일 때 두 개의 동일 코드북이 사용되거나(2-fold CB collision) 또는 두 개의 서로 다른 코드북(no CB collision)을 선택하는 두 가지 경우가 있다. 도 12에는 이러한 두 가지 경우에 대해 모든 코드북 조합의 평균 BER을 도시하였다. 먼저, 도 12에서 no CB collision 경우에 제안하는 CA-MUD가 baseline MUD보다 넓은 SNR 범위에서 같거나 더 우수한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는, $\hat{\mathbf{h}}_s$ 를 입력으로 넣는 것보다 입력 전처리로 생성한 $\hat{\mathbf{c}}$ 에 의해 더욱 효과적으로 CA-MUD를 학습할 수 있기 때문이다. 특히, CA-MUD는 채널 이외에 코드북 정보를 제공받기 때문에 높은 SNR에서 학습 효율이 더욱 높다. 또한, 제안하는 CA-MUD는 baseline MUD와 다르게 2-fold CB collision까지 성공적으로 구분할 수 있다. 즉, 실시예 1에 나와 있는 것처럼, 2개 코드북이 충돌하더라도 BER = 10^{-2} 에서 3dB 이하의 성능 열화로 수신이 가능하다.

[0102] 도 13은 본 발명의 일 실시 예에 따른 3개의 코드북이 활성화된 경우 코드북 조합에 따른 평균 BER 성능을 나타낸 도면이다.

[0103] 도 13은 $N_a = \lambda = 3$ 인 상황에서 CA-MUD의 성능을 나타낸다. 도 12와 같이 하나의 CA-MUD를 설계하여 $N_a = 3$ 의 모든 코드북 활성 조합을 검출한다. 이때, $N_a = 3$ 인 상황에서는 코드북 충돌이 없거나(no CB collision), 2개의 코드북 충돌이 있거나(2-fold codebook collision), 그리고 3개의 코드북 충돌(3-fold CB collision)의 경우가 있다. 따라서, $\lambda = 3$ 인 하나의 CA-MUD를 설계하여 $N_a = 3$ 인 모든 코드북 조합을 수신한다. 도 13을 참조하면, 코드북 충돌이 없는 경우에 $\lambda = 3$ 인 CA-MUD는 baseline-MUD 보다 우수한 BER 성능을 보여준다. 이는 입력 전처리를 통한 효율적인 MUD 학습으로부터 기인한 성능 이득이다. 또한, 제안하는 CA-MUD는 $N_a = 3$ 의 경우에도 2-fold CB collision 경우들에 대해서도 성공적으로 MUD를 수행하는 것을 볼 수 있다. 마지막으로, 3-fold collision의 경우 3개의 M -ary 코드북이 하나의 자원에서 겹치며, 어떠한 resource diversity도 얻을 수 없기 때문에 열악한 성능을 가지지만, 그럼에도 E_b/N_0 증가에 따라 평균 BER 성능 감소가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0104] 이상 설명한 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, 하나의 딥러닝 기반 다중 사용자 검출기 네트워크가 여러 개 조합의 코드북(확산 수열)을 사용한 수신 데이터에 대해 다중 사용자 검출을 수행하도록 함으로써, 수신 복잡도와 비용을 낮출 수 있다.

[0105] 또한 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, 다중 사용자 검출기 설계(학습)를 위한 보조 정보로서 채널 벡터를 그대로 다중 사용자 검출기에 입력하는 것이 아닌, 입력 전처리 과정을 통해 코드북과 채널을 동시에 고려한 벡터를 보조 정보(side-information)로 고려하여 다중 사용자 검출기를 효과적으로 학습하게 함으로써 학습 효율과 최종 비트 오류율 성능을 높일 수 있다.

[0106] 또한 본 발명의 다양한 실시 예들에 따르면, L 개의 서로 다른 사용자 특정 레이어(layer)를 통해 최대 L 개의 코드북 충돌을 구분하기 위한 일반화된 딥러닝 기반 멀티 태스크 러닝 MUD 구조를 제시하고, 딥러닝 기반 MUD가 코드북 충돌까지 구분할 수 있도록 함으로써 동일한 코드북이 L 개만큼 충돌이 발생하더라도 채널을 통해 수신기가 각 사용자의 데이터를 검출할 수 있도록 한다.

[0107] 본 발명의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소

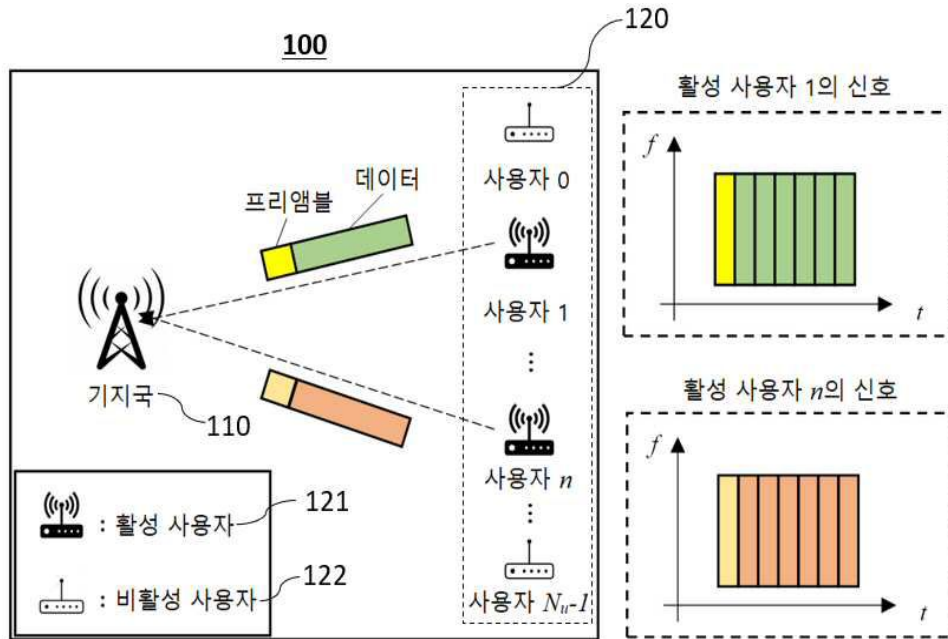
소프트웨어의 조합의 형태로 구현될(implemented) 수 있다.

- [0108] 소프트웨어로 구현하는 경우, 하나 이상의 프로그램(소프트웨어 모듈)을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되는 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치(device) 내의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능하도록 구성된다(configured for execution). 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치로 하여금 본 발명의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들을 실행하게 하는 명령어(instructions)를 포함한다.
- [0109] 이러한 프로그램(소프트웨어 모듈, 소프트웨어)은 랜덤 액세스 메모리 (random access memory), 플래시(flash) 메모리를 포함하는 불휘발성(non-volatile) 메모리, 롬(ROM: Read Only Memory), 전기적 삭제가능 프로그램가능 롬(EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), 자기 디스크 저장 장치(magnetic disc storage device), 콤팩트 디스크 롬(CD-ROM: Compact Disc-ROM), 디지털 다목적 디스크(DVDs: Digital Versatile Discs) 또는 다른 형태의 광학 저장 장치, 마그네틱 카세트(magnetic cassette)에 저장될 수 있다. 또는, 이들의 일부 또는 전부의 조합으로 구성된 메모리에 저장될 수 있다. 또한, 각각의 구성 메모리는 다수 개 포함될 수도 있다.
- [0110] 또한, 프로그램은 인터넷(Internet), 인트라넷(Intranet), LAN(Local Area Network), WLAN(Wide LAN), 또는 SAN(Storage Area Network)과 같은 통신 네트워크, 또는 이들의 조합으로 구성된 통신 네트워크를 통하여 접근(access)할 수 있는 부착 가능한(attachable) 저장 장치(storage device)에 저장될 수 있다. 이러한 저장 장치는 외부 포트를 통하여 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수 있다. 또한, 통신 네트워크상의 별도의 저장장치가 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수도 있다.
- [0111] 상술한 본 발명의 구체적인 실시 예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다. 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 본 발명이 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.
- [0112] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 본 발명의 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 즉 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명의 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다. 또한 상기 각각의 실시 예는 필요에 따라 서로 조합되어 운용할 수 있다. 예컨대, 본 발명의 일 실시 예와 다른 일 실시 예의 일부분들이 서로 조합되어 기지국과 단말이 운용될 수 있다.
- [0113] 한편, 본 발명의 방법을 설명하는 도면에서 설명의 순서가 반드시 실행의 순서와 대응되지는 않으며, 선후 관계가 변경되거나 병렬적으로 실행될 수도 있다.
- [0114] 또는, 본 발명의 방법을 설명하는 도면은 본 발명의 본질을 해치지 않는 범위 내에서 일부의 구성 요소가 생략되고 일부의 구성요소만을 포함할 수 있다.
- [0115] 또한, 본 발명의 방법은 발명의 본질을 해치지 않는 범위 내에서 각 실시예에 포함된 내용의 일부 또는 전부가 조합되어 실행될 수도 있다.
- [0116] 본 발명의 다양한 실시예들이 전술되었다. 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명의 실시예들은 개시된 실시예들에 한정되는 것은 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

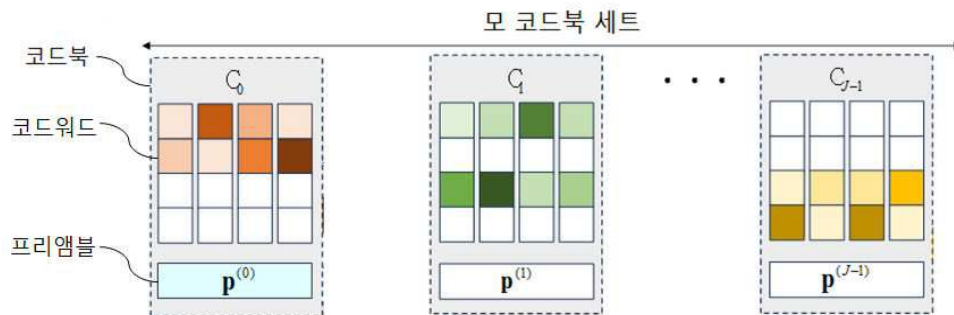
부호의 설명

도면

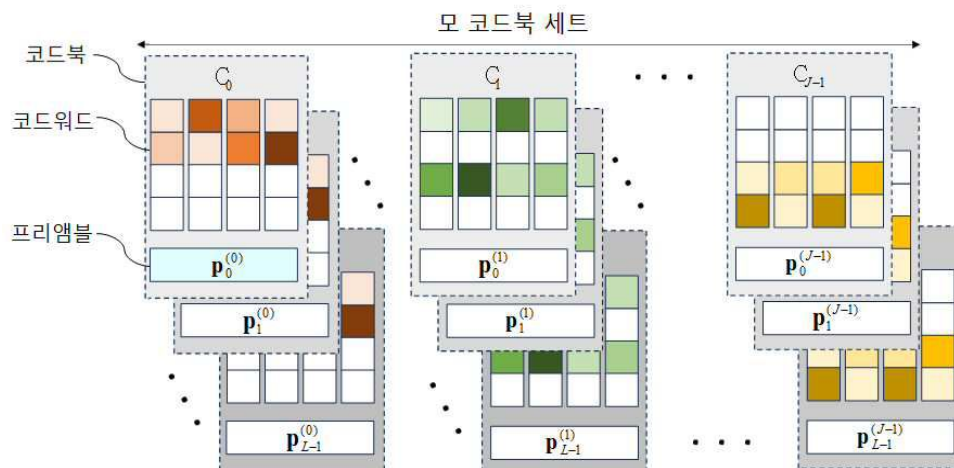
도면1



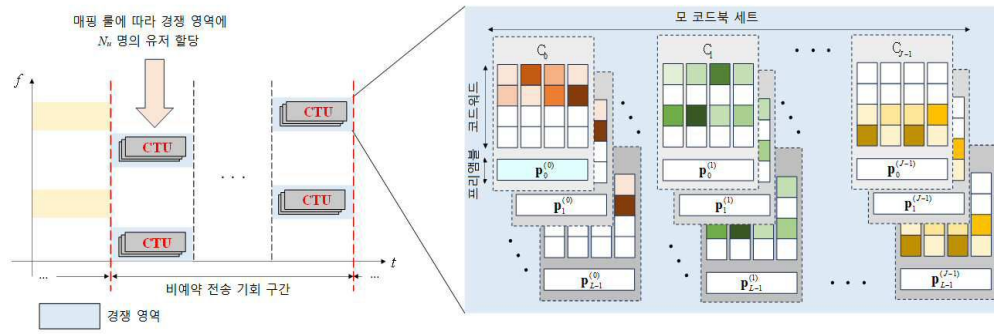
도면2



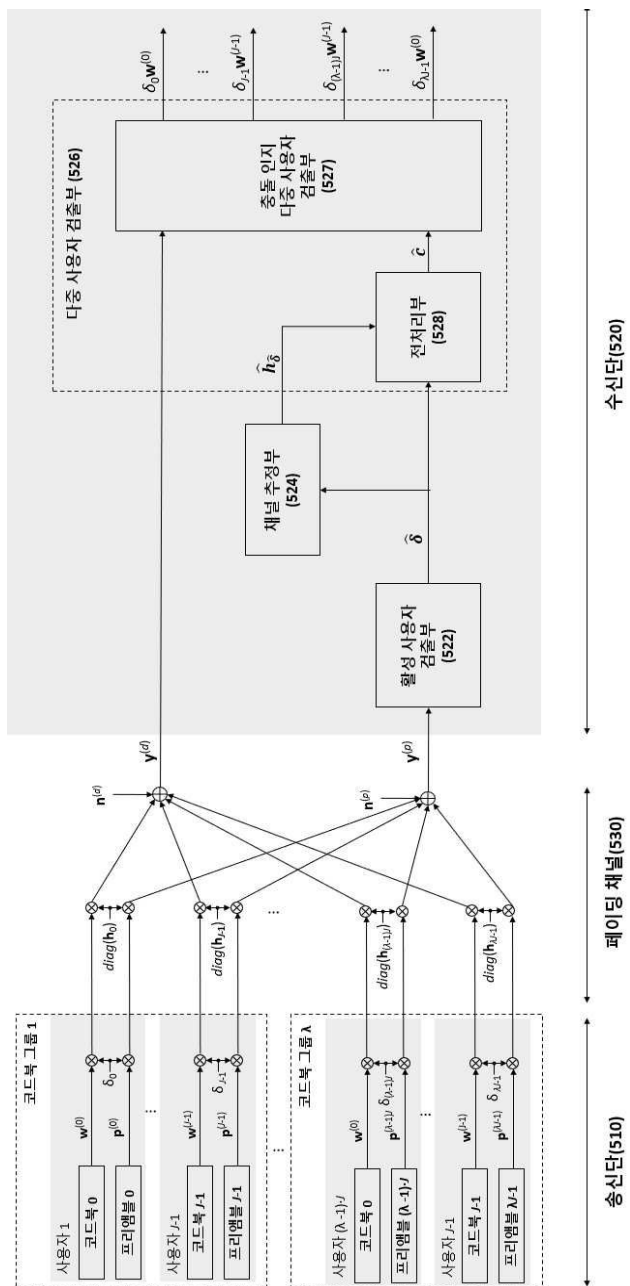
도면3



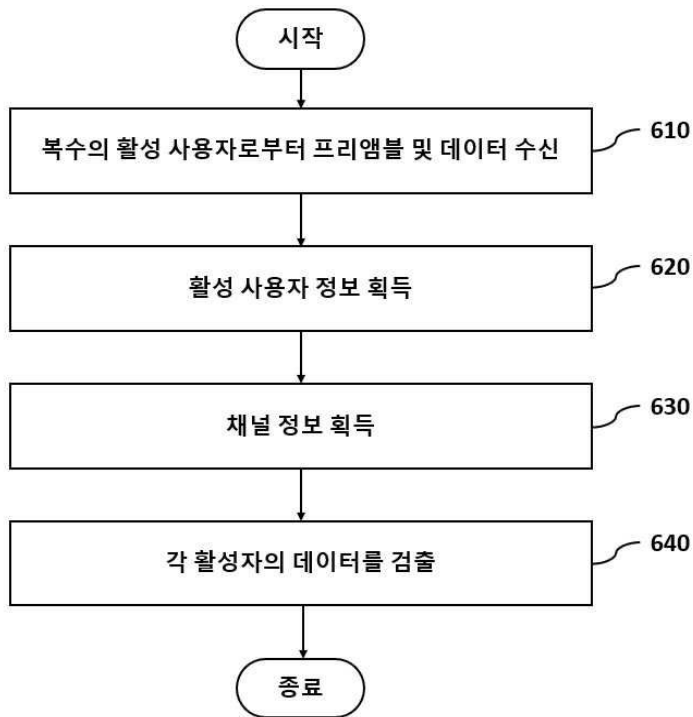
도면4



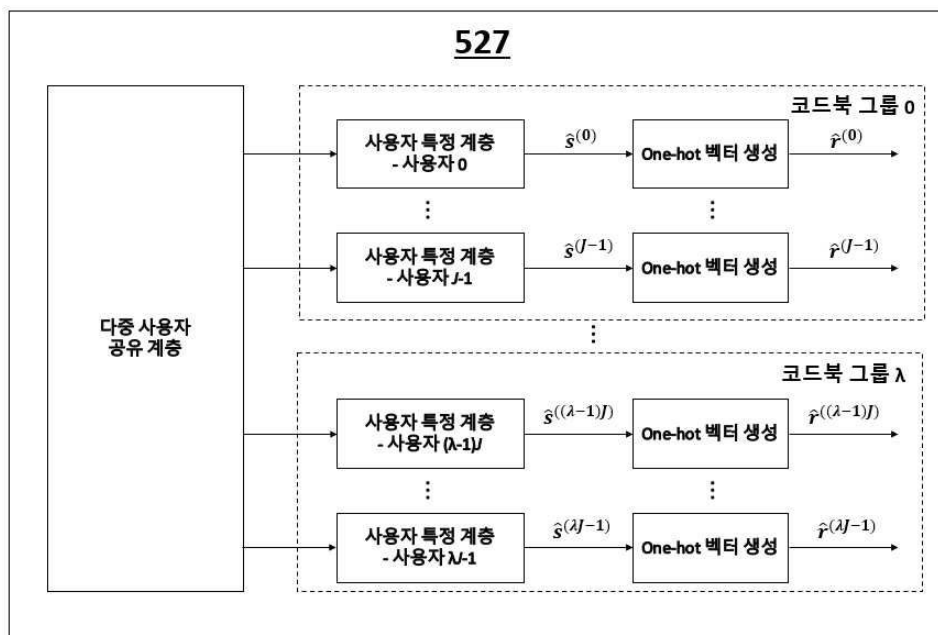
도면5



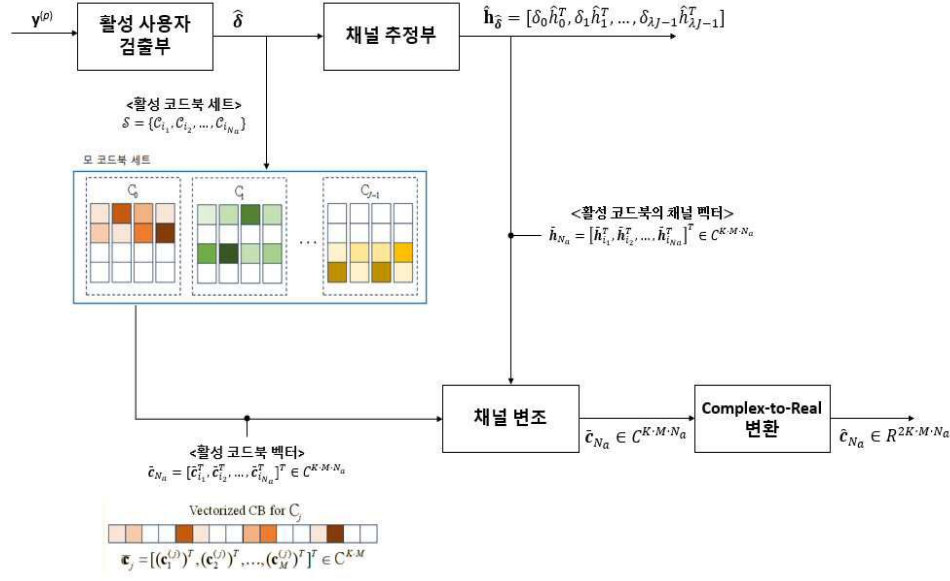
도면6



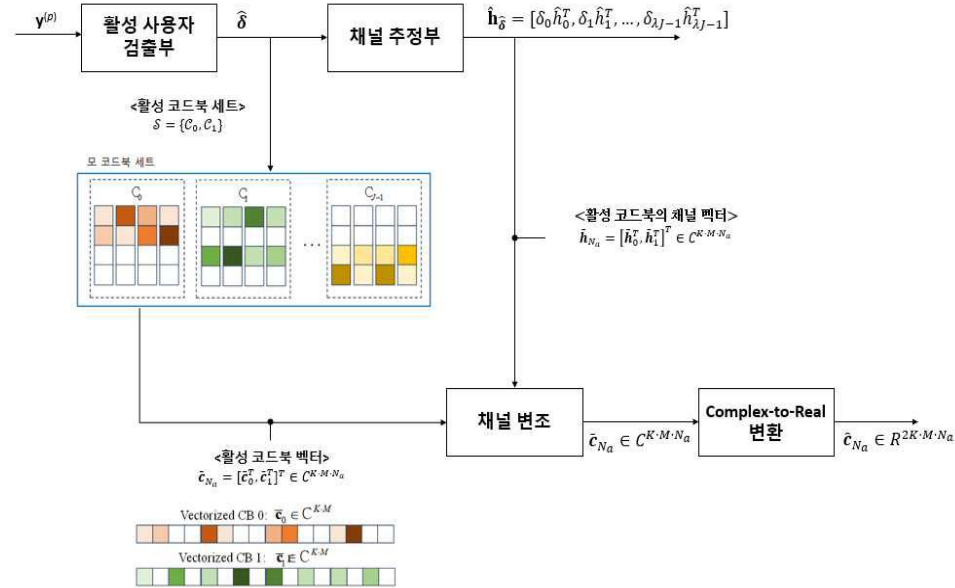
도면7



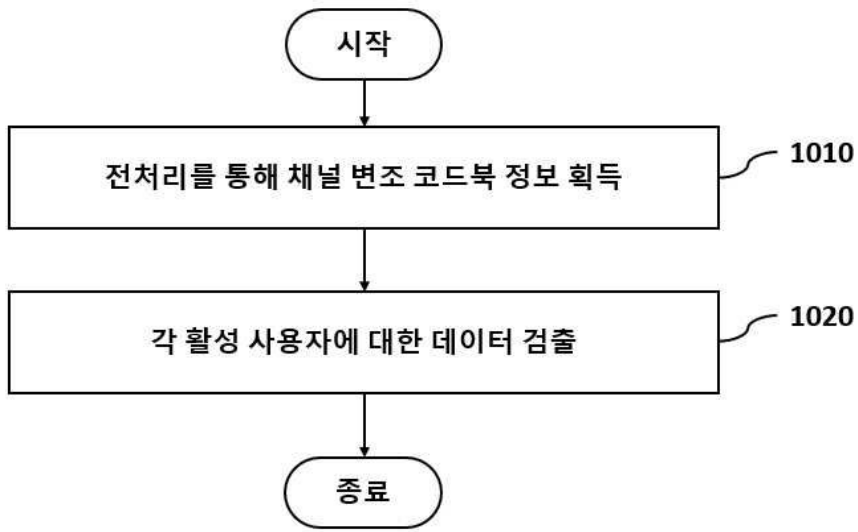
도면8



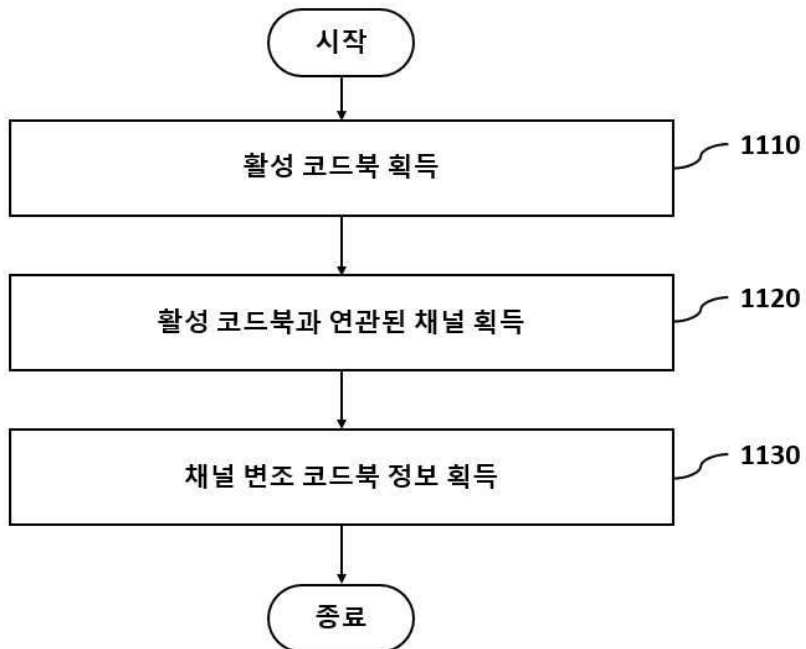
도면9



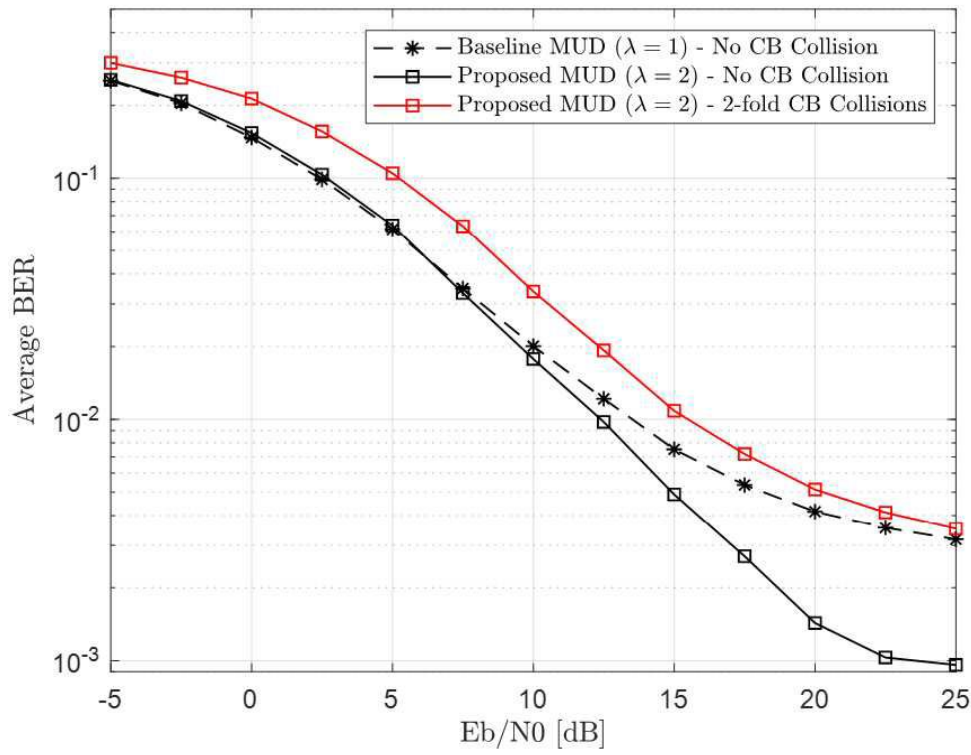
도면10



도면11



도면12



도면13

