(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2022 년 11 월 10 일 (10.11.2022)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2022/234917 A1

(51) 국제특허분류:
*H04B 7/06* (2006.01) *H04B 7/0456* (2017.01)
*H04B 7/0417* (2017.01) *G06N 20/00* (2019.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2021/018951

(22) 국제출원일: 2021 년 12 월 14 일 (14.12.2021)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2021-0058709 2021 년 5 월 6 일 (06.05.2021) KR

(71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (**KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION**) [KR/KR]; 02841 서울특별시 성북구 안암로 145, Seoul (KR).

(72) 발명자: 이인규 (**LEE, In Kyu**); 06080 서울특별시 강남구 영동대로 640, 웨스트동 3303호., Seoul (KR). 장정현 (**JANG, Jeong Hyeon**); 02475 서울특별시 동대문구 제기로6길 9-3, 402호., Seoul (KR).

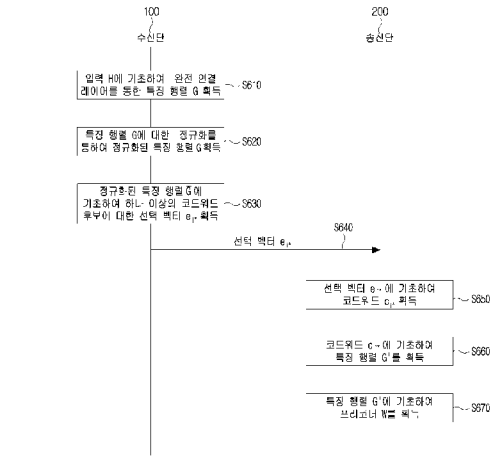
(74) 대리인: 최윤서 등 (**CHOE, Yun Seo** et al.); 06253 서울특별시 강남구 도곡로 111, 3층 윤특허법률사무소, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(54) **Title:** MACHINE LEARNING-BASED VECTOR QUANTIZATION METHOD AND DEVICE FOR LIMITED FEEDBACK IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

(54) **발명의 명칭:** 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 머신 러닝 기반 벡터 양자화 방법 및 장치




100 ... Reception terminal
200 ... Transmission terminal
S610 ... Obtain feature matrix G by means of fully connected layer on basis of input H
S620 ... Obtain normalized feature matrix G by normalizing feature matrix G
S630 ... Obtain selection vector ei* with respect to one or more codeword candidates on basis of normalized feature matrix G
S640 ... Selection vector ei*
S650 ... Obtain codeword ci* on basis of selection vector ei*
S660 ... Obtain feature matrix GI on basis of codeword ci*
S670 ... Obtain precoder W on basis of feature matrix GI

(57) **Abstract:** The present disclosure relates to a machine learning-based vector quantization method and device for limited feedback in a wireless communication system. The method for providing feedback on a selection vector by a reception terminal in a wireless communication system according to one embodiment of the present disclosure comprises the steps of: obtaining a feature matrix on the basis of a reception signal from a transmission terminal; obtaining a selection vector with respect to one or more codeword candidates included in a predetermined codebook, on the basis of the feature matrix; and sending feedback on the selection vector to the transmission terminal, wherein the selection vector comprises the same number of elements as the number of the one or more codeword candidates and may comprise one or more elements which are not 0.

(57) **요약서:** 본 개시는 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 머신 러닝에 기반한 벡터 양자화 방법 및 장치에 대한 것이다. 본 개시의 일 실시예에 따른 무선 통신 시스템에서 수신단에 의해 선택 벡터를 피드백하는 방법은, 송신단으로부터의 수신 신호에 기초하여 특징 행렬을 획득하는 단계; 상기 특징 행렬에 기초하여, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터를 획득하는 단계; 및 상기 선택 벡터를 상기 송신단으로 피드백하는 단계를 포함하고, 상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함할 수 있다.

[다음 쪽 계속]

WO 2022/234917 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

# 명세서

# 발명의 명칭: 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 머신 러닝 기반 벡터 양자화 방법 및 장치

## 기술분야

[1] 본 개시는 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백에 대한 것이며, 구체적으로는 제한된 피드백을 위한 머신 러닝에 기반한 벡터 양자화 방법 및 장치에 대한 것이다.

## 배경기술

[2] 다중 안테나 또는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 통신 시스템은, 수신단으로부터 송신단으로의 피드백 여부에 따라 개루프(open loop) 또는 폐루프(closed loop) 시스템으로 구분될 수 있다. 개루프 시스템은 송신단이 송신단으로부터 수신단으로의 채널에 대한 정보 또는 채널 상태 정보(Channel Status Information, CSI) 없이 동작하는 것을 포함하고, 폐루프 시스템은 송신단이 수신단으로부터 획득한 CSI를 고려하여 동작하는 것을 포함한다.

[3] 폐루프 시스템에서 수신단에 의해서 피드백되는 CSI에는 빔포밍(또는 프리코딩) 정보(예를 들어, 프리코딩 행렬 인덱스(Precoding Matrix Index, PMI))가 포함될 수 있다. 빔포밍은 송신단이 전송하고자 하는 전송 스트림을 다중 안테나(또는 안테나 포트)에 매핑시키는 것을 의미하며, 그 매핑 관계는 빔포밍 행렬(또는 벡터)에 의해서 표현될 수 있다. 송신단은 수신단으로부터 피드백되는 빔포밍 정보를 참고하여 빔포밍을 수행할 수 있다.

[4] 제한된 피드백이란, 피드백되는 빔포밍 정보가, 송신단과 수신단에서 공유하는 빔포밍 행렬(들)의 집합의 범위로 제한되는 피드백 방식을 의미한다. 빔포밍 행렬(들)을 구성요소로 하는 미리 정의된 집합을 코드북(codebook)이라 할 수 있고, 하나의 코드북은 하나 이상의 코드워드(codeword)를 포함할 수 있으며, 각각의 코드워드는 하나의 빔포밍 행렬에 대응할 수 있다. 즉, 코드북을 이용한 피드백 방식을 제한된 피드백이라 할 수 있다.

[5] 종래의 제한된 피드백 방식에서는 수신단에서 채널 정보를 정확하게 확보할 수 있다는 것을 가정하여 코드북을 설계하였다. 또한, 머신 러닝(예를 들어, 딥러닝)을 이용하여 코드북에 포함되는 코드워드들에 대한 양자화를 적용하는 코드북 설계가 논의되고 있다. 그러나, 코드북 설계에 있어서의 양자화 손실을 방지하는 방안이 마련되어 있지 않기 때문에, 코드북에 포함되는 코드워드들이 최적의 피드백 성능을 보장할 수 없는 문제가 있다.

## 발명의 상세한 설명

## 기술적 과제

[6] 본 개시의 기술적 과제는 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 코드북 설계에 있어서 머신 러닝 기반의 벡터 양자화를 위한 방법 및 장치를 제공하는

것이다.

[7] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 코드북 설계에 있어서 머신 러닝 기반의 벡터 양자화의 양자화 손실 방지를 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[8] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 무선 통신 시스템에서 벡터 양자화 기법에 기반하여 설계된 코드북을 이용하여 피드백 성능을 높이기 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[9]

[10] *본 개시의 추가적인 기술적 과제는 무선 통신 시스템에서 벡터 양자화 기법에 기반하여 설계된 코드북을 이용하여 시스템 이득 및 통신 품질을 향상시키기 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[11] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

## 과제 해결 수단

[12] 본 개시의 일 양상에 따른 무선 통신 시스템에서 수신단에 의해 선택 벡터를 피드백하는 방법은, 송신단으로부터의 수신 신호에 기초하여 특징 행렬을 획득하는 단계; 상기 특징 행렬에 기초하여, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터를 획득하는 단계; 및 상기 선택 벡터를 상기 송신단으로 피드백하는 단계를 포함하고, 상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함할 수 있다.

[13] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단에 의해 프리코더를 결정하는 방법은, 수신단으로부터 하나 이상의 선택 벡터를 수신하는 단계; 상기 하나 이상의 선택 벡터를 이용하여 하나 이상의 코드워드를 획득하는 단계; 및 상기 하나 이상의 코드워드에 기초하여 프리코더를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각은, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함할 수 있다.

[14] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 무선 통신 시스템에서 피드백을 수행하는 수신 장치는, 트랜시버; 안테나부; 메모리; 및 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 송신단으로부터 상기 트랜시버를 통하여 수신되고 상기 메모리에 저장된 수신 신호에 기초하여 특징 행렬을 획득하여 상기 메모리에 저장하고; 상기 특징 행렬에 기초하여, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터를 획득하여 상기 메모리에 저장하고; 및 상기 선택 벡터를 상기 트랜시버를 통하여 상기 송신단으로 피드백하도록

설정되고, 상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함할 수 있다.

[15] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 무선 통신 시스템에서 프리코더를 결정하는 송신 장치는, 트랜시버; 안테나부; 메모리; 및 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, 수신단으로부터 하나 이상의 선택 벡터를 상기 트랜시버를 통하여 수신하여 상기 메모리에 저장하고; 상기 하나 이상의 선택 벡터를 이용하여 하나 이상의 코드워드를 획득하여 상기 메모리에 저장하고; 및 상기 하나 이상의 코드워드에 기초하여 프리코더를 결정하도록 설정되며, 상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각은, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함할 수 있다.

[16] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

## 발명의 효과

[17] 본 개시에 따르면, 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 코드북 설계에 있어서 머신 러닝 기반의 벡터 양자화를 위한 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[18] 본 개시에 따르면, 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백을 위한 코드북 설계에 있어서 머신 러닝 기반의 벡터 양자화의 양자화 손실 방지를 위한 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[19] 본 개시에 따르면, 무선 통신 시스템에서 벡터 양자화 기법에 기반하여 설계된 코드북을 이용하여 피드백 성능을 높이기 위한 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[20] 본 개시에 따르면, 무선 통신 시스템에서 벡터 양자화 기법에 기반하여 설계된 코드북을 이용하여 시스템 이득 및 통신 품질을 향상시키기 위한 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[21] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[22] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 제한된 피드백 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[23] 도 2는 본 개시가 적용가능한 코드북 설계 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[24] 도 3은 본 개시가 적용될 수 있는 완전 연결 심층신경망의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[25] 도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 머신 러닝 기반 벡터 양자화를 설명하기 위한 도면이다.

[26] 도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 제한된 피드백 동작을 설명하기 위한

도면이다.

[27] 도 6은 본 개시에 따른 머신 러닝 기반 벡터 양자화 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[28] 도 7은 본 개시에 따라 설계된 코드북을 기반으로 제한된 피드백을 수행하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[29] 도 8은 본 개시에 따른 수신 장치 및 송신 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[30] 도 9는 본 개시에 따른 제한된 피드백 시스템에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

## 발명의 실시를 위한 최선의 형태

[31] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[32] 본 개시의 실시예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙인다.

[33] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계 뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[34] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들 간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시예에서의 제1 구성요소는 다른 실시예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시예에서의 제2 구성요소를 다른 실시예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.

[35] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위한 것이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[36] 본 개시에 있어서, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들은 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다.

따라서, 일 실시예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[37] 본 개시는 무선 통신 시스템에서 네트워크 노드들 간의 통신에 대한 것이다. 네트워크 노드는, 기지국, 단말 또는 릴레이(relay) 중의 하나 이상을 포함할 수 있다. 기지국(Base Station, BS)이라는 용어는, 고정국(fixed station), Node B, eNodeB(eNB), ng-eNB, gNodeB(gNB), 액세스 포인트(Access Point, AP) 등의 용어로 대체될 수 있다. 단말(terminal)은 UE(User Equipment), MS(Mobile Station), MSS(Mobile Subscriber Station), SS(Subscriber Station), 비-AP 스테이션(non-AP STA) 등의 용어로 대체될 수 있다.

[38] 무선 통신 시스템은 기지국과 단말 간의 통신을 지원할 수도 있고, 단말간 통신을 지원할 수도 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 있어서, 하향링크(Downlink, DL)는 기지국으로부터 단말로의 통신을 의미한다. 상향링크(Uplink, UL)은 단말로부터 기지국으로의 통신을 의미한다. 단말간 통신은 D2D(Device-to-Device), V2X(Vehicle-to-everything), ProSe(Proximity Service), 사이드링크(sidelink) 통신 등의 다양한 통신 방식 또는 서비스를 포함할 수 있다. 단말간 통신에 있어서 단말은 센서 노드, 차량, 재난 경보기 등의 형태로 구현될 수도 있다.

[39] 또한, 무선 통신 시스템은 릴레이(relay) 또는 릴레이 노드(RN)를 포함할 수 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있고, 릴레이는 기지국에 대해서 단말로서 기능할 수 있다. 한편, 단말간 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 각각의 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있다.

[40] 본 개시는 무선 통신 시스템의 다양한 다중 액세스 방식에 적용될 수 있다. 예를 들어, 다중 액세스 방식은 CDMA(Code Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA(Single Carrier-FDMA), OFDM-FDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access) 등을 포함할 수 있다. 또한, 본 개시가 적용될 수 있는 무선 통신 시스템은, 상향링크 및 하향링크 통신이 서로 구별되는 시간 자원을 이용하는 TDD(Time Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있고, 서로 구별되는 주파수 자원을 이용하는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있다.

[41] 본 개시에서, 채널을 전송 또는 수신한다는 것은 해당 채널을 통해서 정보 또는 신호를 전송 또는 수신한다는 의미를 포함한다. 예를 들어, 제어 채널을 전송한다는 것은, 제어 채널을 통해서 제어 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다. 유사하게, 데이터 채널을 전송한다는 것은, 데이터 채널을 통해서

데이터 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다.

[42] 다중 안테나 통신 시스템에서 다중 안테나의 이점을 활용하기 위해서는 송수신단 간의 환경에 대한 정보를 나타내는 채널 정보 공유가 필수적이다. 이를 위해 송신단으로부터 받은 신호를 이용해 수신단에서 채널 정보를 피드백하는 방법이 사용될 수 있다. 특히 한정된 주파수 대역을 활용한 제한된 피드백 기법에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 제한된 피드백을 위해 송수신단 간에 미리 정의된 코드북이라는 개념을 사용하게 된다. 따라서, 이러한 코드북을 얼마나 잘 설계하느냐에 따라 피드백의 품질이 결정될 수 있다. 예를 들어, 단일 사용자에 대한 코드북 설계에 있어서, 송수신단에서 사용하는 안테나의 상관관계가 없는 경우 또는 일반적인 경우에 대한 코드북 설계 기법이 연구되고 있다.

[43] 최근에는 코드북 설계에 있어서 머신 러닝(예를 들어, 딥러닝) 기술이 활용하는 방안이 논의되고 있다. 딥러닝은 통상적으로 경사 하강법에 기반한 훈련으로 이뤄진다. 그러나, 코드북 설계에 필수 요소인 양자화의 경사가 정의되지 않기 때문에, 딥러닝 기술의 적용에 있어서 이를 위한 해결책이 필요하다. 예를 들어, 이진화 기법을 기반으로 하는 양자화 기법이 논의되었으며, 구체적으로는 단순한 이진화 함수에 임의의 잡음을 추가하여 직접적인 경사가 아닌 추정된 근사 값을 사용하여 훈련하는 방식을 적용해 훈련이 가능하게 설계할 수 있다. 그러나 양자화된 출력이라는 제한된 표현과 양자화 기법의 최적성이 증명되지 않음으로 인해, 코드북 설계에 있어서 양자화 손실이 발생하는 문제가 있다. 따라서, 코드북 설계, 즉, 코드북에 포함되는 코드워드들을 결정함에 있어서, 양자화 손실을 줄이기 위한 새로운 방안이 요구된다.

[44] 이하에서는, 무선 통신 시스템에서의 제한된 피드백을 위한 코드북 설계에 있어서, 머신 러닝에 기반한 벡터 양자화 방안에 대한 본 개시의 실시예들에 대해서 설명한다.

[45] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 제한된 피드백 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[46] 다중 안테나 통신 시스템(또는 MIMO 시스템)에서 다중 안테나의 이점을 활용하기 위해서, 송신단과 수신단 간의 채널에 대한 정보를 공유하는 것이 필요하다. 이를 위해서 송신단으로부터 수신되는 신호를 이용하여, 수신단에서 채널 정보를 결정한 후, 결정된 채널 정보를 송신단으로 피드백할 수 있다.

[47] 피드백 정보의 양이 많아지면 사용자 데이터 전송을 위해서 사용할 자원이 부족해지기 때문에, 피드백 정보의 오버헤드를 줄이기 위한 방안이 요구된다. 예를 들어, 한정된 주파수 대역을 활용한 피드백 방식이 적용될 수도 있고, 코드북을 이용하는 제한된 피드백 방식이 적용될 수 있다.

[48] 제한된 피드백 방식의 무선 통신 시스템에서 송신단(Tx)과 수신단(Rx)은 미리 정의된 코드북(codebook)을 공유할 수 있다. 이 경우, 송신단은 Nt 개의 안테나를 통하여 수신단으로 파일럿 신호(또는 참조 신호(reference signal)) P를 전송할 수

있으며, 파일럿 신호 P는 송신단과 수신단이 공유하는 미리 정의된 패턴 또는 시퀀스의 신호에 해당할 수 있다. 파일럿 신호는 L의 길이를 가지는 것으로 가정한다.

[49] 송신단에 의해 전송된 파일럿 신호는 채널 H를 통과하고 잡음 N이 부가되어 수신단의 Nr 개의 안테나를 통하여 수신될 수 있다. 수신단에서는 미리 알고 있는 파일럿 신호의 패턴이 채널 H 및 잡음 N에 의해 변화된 $Y^{train}$을 이용하여, 채널 H에 대한 채널 추정(channel estimation)을 수행할 수 있다.

[50] 수신단은 추정된 채널 정보에 기초하여 코드북에서 코드워드 W를 선택할 수 있다. 여기서, 수신단은 유효 채널 게인(effective channel gain)이 최대가 되는 코드워드를 선택할 수 있다. 예를 들어, 추정된 채널 정보에 기초하여, 코달 거리(chordal distance)가 최소화되는 또는 어고딕 커패시티(ergodic capacity)를 최대화하는 코드워드가 선택될 수 있다.

[51] 수신단은 선택된 코드워드 W를 지시하는 정보 또는 코드워드 인덱스를 피드백 채널을 통하여 송신단으로 전달할 수 있다. 송신단은 수신단에 의해서 피드백된 코드워드 인덱스에 해당하는 코드워드를 코드북 내에서 결정하고, 이에 기초하여 송신을 수행할 수 있다. 다만, 송신단은 수신단의 피드백 정보를 참고할 뿐, 반드시 수신단의 피드백 정보를 그대로 따르도록 강요되지는 않는다.

[52] 도 2는 본 개시가 적용가능한 코드북 설계 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[53] 도 2(a)에서 도시하는 바와 같이 종래의 제한된 피드백 시스템은 수신단이 수신한 신호 $Y^{train}$을 이용하여 채널 추정을 수행하고, 수신단이 추정된 채널에 기초하여 코드워드를 선택하고, 선택된 코드워드를 송신단으로 피드백하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 송신단은 수신단으로부터의 피드백 정보에 기초하여 빔포밍을 수행하고, 이에 따라 적절한 빔포밍 행렬 (또는 벡터) W를 결정할 수 있다. 이와 같이 결정된 빔포밍 행렬은 코드북에 포함될 코드워드로서 이용될 수 있다.

[54] 이러한 종래의 제한된 피드백 시스템은 선형 시스템을 가정하고, 각각의 과정이 블록으로 나눠져 입력 $Y^{train}$ (즉, 수신 신호)과 출력 W (즉, 코드워드) 간의 관계를 도출하기 어려운 한계점이 존재한다.

[55] 도 2(b)에서 도시하는 머신 러닝 기반 제한된 피드백 시스템은, 전체 과정을 하나의 블랙박스 형태로 볼 수 있다. 예를 들어, 블랙박스는 심층신경망(Deep Neural Network) 알고리즘으로 표현될 수 있다. 이에 따라, 입력 $Y^{train}$ (즉, 수신 신호)과 출력 W (즉, 코드워드) 간의 직접적인 비선형 관계를 도출할 수 있다.

[56] 본 개시에서는 송신단은 Nt 개(여기서, Nt는 2 이상의 정수)의 안테나를 구비하고, 수신단은 Nr 개의 안테나(여기서, Nr은 2 이상의 정수)를 구비하는 것으로 가정한다. 또한, 송신단과 수신단은 FDD 방식을 이용하여 정보를 송수신하는 것으로 가정한다. 그러나, 이러한 가정은 설명의 명료성을 위한 것일 뿐, 본 개시의 범위가 이에 제한되는 것은 아니며, 송신단 또는 수신단이 하나 이상의 안테나를 구비한 경우나 TDD 방식을 지원하는 시스템에 대해서도 본

개시의 원리가 동일하게 적용될 수 있다.

[57] 이러한 무선 통신 시스템에서 채널 H(여기서, $H \in C^{N_r \times N_t}$)에 따라서 적용되는 빔포밍 행렬 또는 프리코더 행렬 W를 도출하기 위해서, 수신단에서 송신단으로부터의 데이터 정보를 수신한 신호는 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

[58] [수식1]

$$y^{data}=\sqrt{E_s}Hs+n^{data}$$

[59] 수학식 1에서 $y^{data}$는 데이터 정보의 수신 신호를 나타내고, Es는 데이터 정보의 송신 전력을 나타내고, H는 채널을 나타내고, s는 송신 신호를 나타내고, $n^{data}$는 잡음을 나타낸다.

[60] 송신되는 신호 s는, 빔포밍 행렬 W (여기서, $W \in C^{N_t \times N_r}$)와 보내고자 하는 데이터 정보 x의 곱으로 정의된다 (즉, s=Wx). 이하에서는, 빔포밍 행렬 W를 효율적으로 얻는 방안에 대해서 설명한다.

[61] 도 3은 본 개시가 적용될 수 있는 완전 연결 심층신경망의 구조를 설명하기 위한 도면이다.

[62] 본 개시에서는 머신 러닝 기법의 일례로서 심층신경망(DNN) 모델이 적용될 수 있다. 그러나, 본 개시의 범위가 DNN 모델로 제한되는 것은 아니며, 다른 유사한 머신 러닝 기법에도 본 개시의 원리가 동일하게 적용될 수도 있다.

[63] DNN이란, 인간의 신경망 구조를 본떠 컴퓨터 과학에서 만든 구조로, 인간의 뉴런 역할을 하는 여러 개의 레이어로 이뤄진 모델이다. 입력과 출력 레이어를 제외한 중간의 레이어를 히든 레이어(hidden layer)라고 하는데, m 번째 히든 레이어의 출력은 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

[64] [수식2]

$$x_m=a_m(W_m x_{m-1}+o_m)$$

[65] 수학식 2에서 $x_m$은 m 번째 레이어의 출력을 나타내고, $a_m$은 활성화 함수(activation function)을 나타내고, $W_m$은 가중치(weight)를 나타내고, $O_m$은 편향(bias)을 나타낸다. 즉, m 번째 레이어의 출력은, m-1 번째 레이어의 출력에 m 번째 레이어의 가중치를 적용하고 가중치가 적용된 결과에 m 번째 레이어의 편향을 부가한 값을 입력으로 하는 활성화 함수의 출력으로 표현될 수 있다.

[66] 여러 개의 레이어와 여러 개의 비선형 활성 함수를 포함하는 DNN 모델을 이용하여, 수학적으로 나타내기 어려운 입력과 출력의 비선형 관계를 근사화시킬 수 있고, 이에 따라 이론적으로 풀기 힘든 문제를 해결할 수 있다.

[67] 도 3의 예시에서는 입력 복소수 행렬 X를 총 L 개의 레이어로 이뤄진 완전 연결 레이어 신경망을 통과하여 출력값 Z를 얻는 것을 나타내며, 이를 위한 연산을

$$\mathcal{F}_{\mathrm{FC}}(\cdot)$$

이라 할 수 있다. 복소수 행렬 X를 신경망에 입력으로 사용하기 위해서는

$$\mathrm{x}=vec([\Re\{\mathrm{X}\}^T\Im\{\mathrm{X}\}^T])^T$$

와 같이 실수 벡터로의 변환(real representation)이 필요하다. 입력이 신경망을 통과할 때, 1 번째 히든 레이어의 출력은 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[68] [수식3]

$$z=a_L(\Phi_L(\ldots(\Phi_2 a_1(\Phi_1 x+b_1)+b_2)\ldots)+b_L$$

[69] 여기서 $\Phi_l$은 1 번째 히든 레이어의 가중치를 의미하고, $b_l$은 1 번째 히든 레이어의 편향을 나타낸다. $a_l$은 비선형 활성화 함수를 의미한다. 모든 레이어를 통과한 출력을

$$\tilde{\mathrm{z}}$$

라 하면,

$$\mathrm{z}=vec([\Re\{\mathrm{Z}\}^T\Im\{\mathrm{Z}\}^T])^T$$

와 같이 출력 복소수 행렬이 계산될 수 있다. 완전 연결 레이어의 출력에 대해 복소수 변환(complex representation)을 통하여 출력 Z를 획득할 수 있다.

[70] 완전 연결 레이어를 포함하는 신경망을 구성하는 모든 가중치 및 편향을

$$\theta=\{\Phi_l, b_l \forall l\}$$

이라 하면, 입력 X, 연산

$$\mathcal{F}_{\mathrm{FC}}(\cdot)$$

및 출력 Z의 전체적인 매핑 관계를 아래의 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[71] [수식4]

$$\mathrm{Z}=\mathcal{F}_{\mathrm{FC}}(\mathrm{X};\theta)$$

[72] 도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 머신 러닝 기반 벡터 양자화를 설명하기 위한 도면이다.

[73] 도 3을 참조하여 설명한 완전 연결 DNN 구조는, 도 4의 예시와 같은 코드북 설계 시스템의 수신단(100) 및 송신단(200) 각각에 적용될 수 있다. 예를 들어, 코드북 설계 시스템은, 송신단(200)으로부터 수신단(100)으로의 채널 정보 H를 수신단(100)의 입력으로 적용하여 벡터 $e_{i^*}$를 출력하는 완전 연결 DNN 연산 구조와, 송신단(200)에서 벡터 $e_{i^*}$를 입력으로 받아서 빔포밍 행렬(또는 프리코더) W를 최종적으로 출력하는 완전 연결 DNN 연산 구조를 포함할 수 있다.

[74] 설명의 명료성을 위해서 코드북 설계 시스템의 입력을 채널 정보 H인 경우를

예시로 들어 설명하지만, 본 개시의 범위가 이에 제한되는 것은 아니며, 채널 H를 통하여 수신된 신호 y를 입력으로 하는 경우에도 본 개시의 머신 러닝 기반의 벡터 양자화를 적용한 코드북 설계의 예시들이 동일하게 적용될 수 있다. 즉, 이하의 예시들에서 입력 H는 수신단(100)에서의 채널 정보 및/또는 수신 신호 정보를 포함할 수 있다.

[75] DNN 구조 기반 코드북 설계 시스템은 크게 두 가지의 연산 구간으로 나눌 수 있다. 첫 번째 연산 구조는 수신단(100)에서의 양자화 구간에 해당하고, 두 번째 연산 구조는 송신단(200)에서의 복호화 구간에 해당할 수 있다.

[76] 양자화 구간의 모든 연산을

$$\mathcal{G}_{\mathrm{G}}\left(\cdot;\Theta_{\mathrm{G}}\right)$$

라 정의하고, $\theta_{\mathrm{G}}$는 양자화 구간의 연산에 포함되는 심층 신경망 파라미터들을 의미할 수 있다. 복호화 구간의 모든 연산을

$$\mathcal{G}_{\mathrm{D}}\left(\cdot;\Theta_{\mathrm{D}}\right)$$

라 정의하고, $\theta_{\mathrm{D}}$는 복호화 구간의 연산에 포함되는 심층 신경망 파라미터들을 의미할 수 있다.

[77] 입력 H가

$$\mathcal{F}_{\mathrm{G}}\left(\cdot;\theta_{\mathrm{G}}\right)$$

라 정의된 완전 연결 레이어(110)를 통과하면, 특징 행렬 G가 획득될 수 있다. 특징 행렬 G에 대해서,

$$\mathcal{N}(\cdot)$$

라 정의된 행-단위 정규화(row-wise normalization) 연산(120)이 수행되면 정규화된 특징 행렬

$$\overline{\mathrm{G}} \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$$

가 획득될 수 있다.

[78] 여기서, 정규화는 특징 행렬의 각 행이 코드워드의 벡터 공간에 위치하도록 수정하는 과정을 포함할 수 있다. 예를 들어, 특징 행렬 G의 각 행을 단일 놈(norm)으로 정규화시켜, 코드워드의 놈과 동일하게 하기 위해서 정규화가 수행될 수 있다.

[79] 정규화된 특징 행렬

$$\overline{G}$$

에 기초하여, 코드워드 선택을 통한 양자화가 수행될 수 있다. 예를 들어, 코드북 행렬 C에 포함되는 코드워드들을 비트 수를 B라고 하는 경우,

$$\mathbf{C} \in \mathbb{C}^{N_t \times 2^B}$$

라는 $2^B$ 개의 단위 벡터 코드워드들(또는 단일 놈(norm) 코드워드들 $c_1, c_2, ...,$ $C_{2^B}$ )로 이뤄진 코드북 행렬을 심층 신경망 파라미터로 취급하고, 수학식 5의 조건을 만족하는 코드워드를 선택할 수 있다.

[80] [수식5]

$$i^{\star} = \arg\max_{j=1,\cdots,2^B} \|\overline{\mathbf{G}}\mathbf{c}_j\|^2$$

[81] 여기서,

$$\mathbf{c}_j \in \mathbb{C}^{N_t} (j = 1, \cdots, 2^B)$$

는 j 번째 코드워드, 즉 코드북 행렬 C의 j 번째 열을 의미한다. 즉, $2^B$ 개의 코드워드들($c_1, c_2, ...,$ $C_{2^B}$ ) 중에서

$\overline{G}$

와의 유효 채널 게인(effective channel gain)이 가장 높은 코드워드($i^*$)가 선택될 수 있다.

[82] 여기서, 코드워드 선택을 통한 양자화는 경사 소실(gradient vanishing) 문제가 발생할 수 있다. 따라서 양자화 연산 그대로를 심층 신경망 훈련에 포함시키는 것은 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위해, 원-핫(one-hot) 벡터를 수정하거나 또는 원-핫 벡터의 근사치를, 코드워드 선택에 적용할 수 있다.

[83] 즉, 코드워드 선택을 통한 양자화의 경사 소실 문제를 방지하기 위해서, 본 개시에서는 양자화에 대한 완화를 적용할 수 있다. 예를 들어, 본 개시에서는 원-핫 벡터를 수정한 원-핫 인코딩(130) 연산을 통하여 완화된 양자화 결과를 획득할 수 있다.

[84] 구체적으로, 원-핫 벡터는 다수의 후보들 중에서 하나를 선택하는 벡터에 해당하며, 예를 들어, 원-핫 벡터의 요소들은 [0, 0, ..., 1, 0, 0, ..., 0]과 같이 표현될 수 있다. 즉, $2^B$ 길이의 벡터를 구성하는 $2^B$ 개의 요소들은, 1 개의 1, 및 $2^B$-1 개의 0으로 구성될 수 있다.

[85] 이와 달리, 본 개시에 따른 완화된 양자화를 위한 선택 벡터(예를 들어, 기존의 원-핫 벡터와 구별하기 위하여 수정된 원-핫 벡터 또는 원-핫 벡터의 근사치라고 칭할 수 있음)를 $e_{i^*}$라 표현할 수 있다. 선택 벡터 $e_{i^*}$의 요소들은, 하나 이상의 0이

아닌(non-zero) 요소로 구성될 수 있다. 또한, 선택 벡터 $e_{i^*}$의 0이 아닌 요소가 복수개인 경우 이들의 값의 일부 또는 전부는 동일할 수도 있고 상이할 수도 있다. 예를 들어, 선택 벡터 $e_{i^*}$는 [0, 0.4, 0.2, 0, ..., 0] 과 같이 구성될 수도 있다.

[86] 즉, 본 개시에 따른 완화된 양자화를 위한 선택 벡터는, 후보들(예를 들어, $2^B$ 개의 코드워드들(130)) 중에서 어느 하나만을 선택하는 것이 아니라, 하나 이상의 코드워드의 가중치 기반 조합에 해당하는 하나의 코드워드를 선택하는 것이라 할 수 있다. 즉, 본 개시의 선택 벡터에 의해 선택되는 하나의 코드워드는, 코드워드 후보들 중의 어느 하나에 해당할 수도 있고, 둘 이상의 코드워드 후보들의 조합에 해당하는 하나의 코드워드(즉, 코드워드 후보들에 속하지 않는 새로운 코드워드)에 해당할 수도 있다. 예를 들어, 선택 벡터 $e_{i^*}$가 [0, 0.4, 0.2, 0, ..., 0]와 같이 0이 아닌 요소를 2개 포함하는 경우, 코드워드 후보 $c_1$, $c_2$, ..., $C_{2^B}$ 중에서 $c_2$ 및 $c_3$의 조합이면서 $c_2$에 대한 가중치 0.4가 적용되고 $c_2$에 대한 가중치 0.2가 적용되는 조합에 해당하는, 새로운 하나의 코드워드가 특정될 수 있다.

[87] 전술한 선택 벡터(또는 원-핫 벡터의 근사치)

$$\mathbf{e}_{i^\star} \in \mathbb{C}^{2^B}$$

는 수학식 6과 같이 구성될 수 있다.

[88] [수식6]

$$\mathbf{e}_{i^*} \rightarrow \left[ e_{i^*,1}, \cdots, e_{i^*,2^B} \right]$$

[89] 선택 벡터 $e_{i^*}$의 1 번째 요소인 $e_{i^*,1}$은 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

[90] [수식7]

$$e_{i^\star,l} = \frac{\|\overline{\mathbf{G}}\,\mathbf{c}_l\|^\alpha}{\sum_{j=1}^{2^B} \|\overline{\mathbf{G}}\,\mathbf{c}_j\|^\alpha}$$

[91] 여기서 α는 근사 정도 변수에 해당한다. 즉, α에 의해 근사 정도가 조절되며, 그 값이 무한대로 갈수록 기존의 원-핫 벡터(즉, 선택 벡터의 $2^B$ 개의 요소들 중에서 하나만이 1의 값을 가지고 나머지 $2^B$-1 개의 요소들은 0의 값을 가지는 벡터)로 수렴할 수 있다. 따라서, 양자화 과정의 경사 소실 문제를 방지하기 위해, α 값을 소정의 양의 실수로 지정한 후 심층 신경망을 훈련할 수 있다.

[92] 다음으로, 수신단(100)의 양자화 구간을 통해 획득한 선택 벡터 $e_{i^*}$를 송신단(200)의 복호화 구간을 통해 프리코더 행렬 W를 산출할 수 있다.

[93] 송신단(200)에 입력된 선택 벡터 $e_{i^*}$를 코드북 행렬 C과 곱하는 연산(210)이 수행될 수 있다. 이는 양자화 구간에서 선택된 코드워드를 획득하는 것과 동일한 의미를 가질 수 있다. 즉, 선택 벡터 $e_{i^*}$ 및 코드북 행렬 C의 곱은 특정 코드워드 $c_{i^*}$에 해당하며, 수신단(100)이 $c_{i^*}$가 아닌 $e_{i^*}$만을 송신단(200)으로 전달하더라도 송신단(200)에서 $c_{i^*}$를 용이하게 획득할 수 있다.

[94] 그 후,

$$\mathcal{F}_{\mathrm{D}}(\cdot;\theta_{\mathrm{D}})$$

라 정의된 완전 연결 레이어(220)를 통과하여 코드워드 $c_{i^*}$로부터 특징 행렬 G'를 획득(또는 복원)할 수 있다. 예를 들어, 하나의 코드워드 $c_{i^*}$에 기초하여 특징 행렬 G'에 포함되는 형태의 요소 g'가 획득될 수 있다. 예를 들어, 특징 행렬 G'에 포함되는 하나의 요소 g'는 특징 행렬 G'의 하나의 행에 해당할 수 있다. 또한, 송신단(200)의 완전 연결 레이어(210)의 출력값인 특징 행렬 G'에 포함되는 형태의 요소 g'는, 수신단(100)의 완전 연결 레이어(110)를 통하여 획득된 특징 행렬 G의 요소 g와 동일한 형태를 가질 수 있지만, g'와 g는 구별될 수 있다. 즉, 특징 행렬 G에 포함되는 요소 g는 입력 H의 일부 특징을 나타내는 것이고, 특징 행렬 G'에 포함되는 g'는 양자화 구간의 출력인 선택 벡터에 의해 도출되는 코드워드인 $c_{i^*}$에 기초하여 복원된 특징을 나타내는 것이라 할 수 있다.

[95] 여기서, 완전 연결 레이어(210)의 연산에서는 선택 벡터(또는 수정된 원-핫 벡터 또는 원-핫 벡터의 근사치)가 아니라, 원-핫 벡터가 그대로 사용될 수 있다. 즉, 본 개시의 선택 벡터는 양자화 구간에서의 경사(gradient)를 위한 수단이며, 심층 신경망 훈련에만 사용된다.

[96] 특징 행렬 G'에 대한 행-단위 정규화(230)를 통해 최종적으로 프리코더 W가 산출될 수 있다. 정규화는 특징 행렬의 각 행이 코드워드의 벡터 공간에 위치하도록 수정하는 과정을 포함할 수 있다. 즉, 정규화는

$$\bar{G}'$$

형태를 복원하기 위해서 수행될 수 있다.

[97] 즉, 출력된 프리코더 W는 정규화된 특징 행렬

$$\bar{G}'$$

에 포함되는 형태의 요소

$$\bar{g}'$$

과 동일한 형태를 가질 수 있으며, 본 개시에서는 복호화 구간의 출력값을 그대로 프리코더 W로 사용할 수 있다.

[98] 이와 같이 도출된 프리코더 W의 하나 이상의 집합으로 코드북이 구성될 수

있다. 예를 들어, 복호화 구간의 입력인 $e_{i*}_1$에 대해서 코드북 곱 연산(210)을 통하여 $c_{i*}_1$이 출력되고, $c_{i*}_1$의 입력에 대한 완전 연결 레이어 연산(220)을 통하여 g'_1가 출력되고, g'_1의 입력에 대한 정규화 연산(230)을 통하여

$g'$

_1이 출력되어, 프리코더 W_1이 결정될 수 있다. 또한, 복호화 구간의 다른 입력인 $e_{i*}_2$에 대해서 코드북 곱 연산(210)을 통하여 $c_{i*}_2$이 출력되고, $c_{i*}_2$의 입력에 대한 완전 연결 레이어 연산(220)을 통하여 g'_2가 출력되고, g'_2의 입력에 대한 정규화 연산(230)을 통하여

$g'$

_2이 출력되어, 프리코더 W_2이 결정될 수 있다. 이와 같이, 복호화 구간에서는 하나 이상의 입력 $e_{i*}_1$, $e_{i*}_2$, ... 에 대해서, 하나 이상의 출력 W_1, W_2, ... 이 획득될 수 있으며, 하나 이상의 출력값들 W_1, W_2, ... 의 집합이 최종적인 코드북 형태로 구성될 수 있다.

[99] 도 4의 예시를 참조하여 설명한 심층 신경망은 다음과 같이 훈련될 수 있다.

[100] 심층 신경망의 훈련은 경사 하강법(gradient descent method)에 기반하여 진행될 수 있다. 이는 프리코더의 성능을 평가하는 손실 함수

$\mathcal{L}$

에 대한 각 파라미터의 경사를 계산한 후 하강하는 방식이라 할 수 있다. 심층 신경망을 이루고 있는 모든 파라미터들을 $\theta = \{\theta_G, \theta_D\}$ 라 하면, 경사 하강은 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

[101] [수식8]

$$\Theta \leftarrow \Theta - \eta \nabla_{\Theta} \mathcal{L}$$

[102] 여기서

$\eta$

은 하강률을 의미한다. 수학식 8을 손실 함수

$\mathcal{L}$

의 값이 수렴할 때까지 반복하여 파라미터들 θ를 업데이트할 수 있다.

[103] 즉, 코드북 설계 시스템의 수신단(100)의 양자화 구간 및 송신단(200)의 복호화 구간의 전체 파라미터 θ에 대해서 경사 하강법을 이용하여 업데이트함으로써 심층 신경망의 훈련이 완료될 수 있다. 이는, 전체 시스템의 완전 연결 레이어의 가중치 및 편향 파라미터를 업데이트하여, 최적의 코드북 설계 시스템의 DNN 파라미터가 결정될 수 있다.

[104] 추가적으로, 코드북 C를 별도의 손실 함수

$\mathcal{R}$

을 통해 업데이트할 수 있다. 손실 함수

$\mathcal{R}$

은 수학식 9와 같이 정의될 수 있다.

[105] [수식9]

$$\mathcal{R} = -\|\overline{\mathrm{G}}\mathbf{c}_{i^\star}\|^2$$

[106] 코드북 C에 대한 업데이트 역시 경사 하강법을 이용하여 수행될 수 있다. 즉, 코드북에 포함되는 코드워드들(즉, 선택 벡터 $\mathbf{e}_{i^*}$ 적용의 대상이 되는 코드워드 후보들)이 손실 함수

$\mathcal{R}$

을 통해 업데이트됨으로써, 최적의 코드워드들을 포함하는 코드북이 결정될 수 있다.

[107] 위 두 과정을 손실 함수의 값이 수렴할 때까지 반복하면서 파라미터들을 업데이트할 수 있다.

[108] 전술한 심층 신경망 전체 시스템에 대한 파라미터 θ를 업데이트하는 과정(예를 들어, 수학식 8)은, 코드북 C를 업데이트하는 과정(예를 들어, 수학식 9)과 연관되어 수행될 수 있다. 예를 들어, 전체 시스템 파라미터 업데이트 과정과, 코드북 업데이트 과정이 번갈아가며 수행될 수 있다. 예를 들어, 파라미터 업데이트 과정이 소정의 반복 횟수만큼 수행되어 전체 시스템 파라미터 θ_1 가 결정된 후, θ_1에 기초하여 코드북 업데이트 과정이 소정의 반복 횟수만큼 수행되어 코드북 C_1이 결정될 수 있다. 이후, C_1을 기반으로 파라미터 업데이트 과정이 소정의 반복 횟수만큼 수행되어 전체 시스템 파라미터 θ_2 가 결정된 후, θ_2에 기초하여 코드북 업데이트 과정이 소정의 반복 횟수만큼 수행되어 코드북 C_2이 결정될 수 있다. 이러한 과정을 반복하면서, 최종적으로 최적의 파라미터 θ 및 최적의 코드북 C가 결정될 수 있다.

[109] 도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 제한된 피드백 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[110] 도 5의 수신단(100) 및 송신단(200)은 도 4를 참조하여 설명한 훈련/업데이트가 완료된 심층 신경망 파라미터가 설정되고, 훈련/업데이트가 완료된 코드북을 공유하는 것으로 가정한다.

[111] 수신단(100)은 입력 H(즉, 수신 신호 및/또는 채널 값)로부터 심층 신경망

$$\mathcal{G}_{\mathrm{G}}\left(\cdot;\Theta_{\mathrm{G}}\right)$$

을 통하여 양자화를 진행하고 최적의 코드워드의 인덱스 $i^*$를 출력할 수 있다. 코드워드 선택의 기준은 전술한 수학식 5에 따를 수 있다. 여기서, 인덱스 $i^*$는 코드북 내 코드워드들 중의 특정 하나에 대응할 수 있다.

[112] 인덱스 $i^*$는 송신단(200)으로 피드백될 수 있다. 송신단(200)은 피드백된 인덱스 $i^*$에 기초하여 코드북 C 중에서 최적의 코드워드 W를 선택할 수 있다. 송신단(200)은 선택된 코드워드 W에 기초한 빔포밍/프리코딩을 적용하여 수신단(100)으로 신호를 전송할 수 있다.

[113] 즉, 코드북 설계를 위한 훈련이 완료된 심층 신경망 기반으로 신호 송수신을 실행하는 경우, 수신단(100)은 코드워드 인덱스 $i^*$만을 송신단(200)으로 피드백할 수 있고, 송신단(200)은 $i^*$가 지시하는 특정 코드워드를 도출할 수 있다. 여기서, 훈련 완료 후 실행 구조에 있어서 선택 벡터(예를 들어, 전술한 수정된 원-핫 벡터 또는 원-핫 벡터의 근사치)는 요구되지 않는다.

[114] 도 6은 본 개시에 따른 머신 러닝 기반 벡터 양자화 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[115] 단계 S610에서 수신단(100)은 입력 H(예를 들어, 수신 신호 및/또는 채널 정보)에 기초하여 완전 연결 레이어(예를 들어,

$$\mathcal{F}_G(\cdot;\theta_G)$$

)를 통한 특징 행렬 G를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 완전 연결 레이어 연산(110)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[116] 단계 S620에서 수신단(100)은 특징 행렬 G에 대한 정규화(예를 들어, 행-단위 정규화)를 통하여 정규화된 특징 행렬

$$\bar{G}$$

를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 정규화 연산(120)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[117] 단계 S630에서 수신단(100)은 정규화된 특징 행렬

$$\bar{G}$$

에 기초하여, 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터 $e_{i^*}$를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 원-핫 인코딩 연산(130)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[118] 단계 S640에서 수신단(100)은 선택 벡터 $e_{i^*}$를 송신단(200)으로 전달/피드백할 수 있다.

[119] 단계 S650에서 송신단(200)은 선택 벡터 $e_{i^*}$에 기초하여 코드워드 $c_{i^*}$를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 선택 벡터 $e_{i^*}$와 코드북 C의 곱 연산(210)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[120] 단계 S660에서 송신단(200)은 코드워드 $c_{i^*}$에 기초하여 완전 연결 레이어(예를 들어,

$$\mathcal{F}_D(\cdot;\theta_D)$$

)를 통한 특징 행렬 G'를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 완전 연결 레이어 연산(220)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[121] 단계 S670에서 송신단(200)은 특징 행렬 G'에 대한 정규화(예를 들어, 행-단위 정규화)를 통하여 프리코더 W를 획득할 수 있다. 구체적인 동작은 도 4의 정규화 연산(230)에 대해서 설명한 사항이 적용될 수 있다.

[122] 도 7은 본 개시에 따라 설계된 코드북을 기반으로 제한된 피드백을 수행하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[123] 단계 S710에서 송신단과 수신단은 머신 러닝 모델 훈련 완료 및 코드북을 공유할 수 있다.

[124] 예를 들어, 도 4 및 도 6을 참조하여 설명한 바와 같이, 수신단(100)은 수신 신호 H(예를 들어, 채널 정보를 포함)의 입력로부터 코드워드 선택 벡터 $e_{i^*}$를 산출하여 송신단(200)으로 피드백할 수 있다. 송신단(200)은 피드백 정보 $e_{i^*}$에 기초하여 프리코더 W를 결정할 수 있다.

[125] 이러한 과정을 반복하여 신경망 훈련을 수행할 수 있다. 신경망 훈련이 완료되면, 수신단 파라미터 $\theta_G$ 및 송신단 파라미터 $\theta_D$ 가 결정될 수 있다. 또한, 코드북 C에 포함되는 코드워드들에 대한 업데이트가 완료되고, 업데이트가 완료된 코드북이 수신단(100) 및 송신단(200) 간에 공유될 수 있다.

[126] 여기서, 단계 S710의 심층 신경망 훈련 및 코드북 최적화는 오프라인 과정으로 수행될 수 있다. 즉, 송신단(200)과 수신단(100) 간의 실제 신호 송수신이 수행되기 전의 배치 단계에서 단계 S710(또는 도 4 및 도 6의 동작)이 수행될 수 있다. 이러한 오프라인 과정이 완료에 따라 심층 신경망 파라미터 및 코드북이 미리 결정되면, 해당 파라미터 및 코드북에 기초하여 이하의 동작(또는 도 5의 동작)이 수행될 수 있다. 이와 같이 코드북 및 신경망 파라미터가 미리 결정된 상황에서, 수신단은 제한된 피드백을 수행하고 송신단은 피드백 정보에 기초하여 빔포밍 기반 전송을 수행할 수 있다.

[127] 따라서, 신경망 훈련이 완료된 후 제한된 피드백 시스템의 적용(application)에 있어서(또는 온라인 과정), 신경망 훈련 과정의 계산 복잡도는 고려되지 않을 수 있다.

[128] 단계 S720에서 송신단은 수신단으로 신호(예를 들어, 파일럿 신호 및/또는 데이터 정보)를 전송할 수 있다.

[129] 단계 S730에서 수신단은 송신단으로부터 수신된 신호(즉, 채널을 거친 파일럿/데이터 정보 신호)에 기초하여 코드워드 인덱스를 결정할 수 있다. 예를 들어, 수신단(100)은 도 5를 참조하여 설명한 동작에 따라서 코드워드 인덱스 $i^*$를 생성할 수 있다. 즉, 신경망 훈련이 완료된 후 제한된 피드백 시스템의 적용에 있어서, 수신단(100)은 신경망 연산을 다시 수행하여(예를 들어, 도 4의 완전 연결 레이어 연산(110) 및 정규화 연산(120)을 수행하지만, 원-핫 인코딩(130) 대신에 코드워드 후보들 중에서 최적의 하나의 코드워드를 선택하여) 코드워드 인덱스 $i^*$를 결정할 수 있다.

[130] 단계 S740에서 수신단은 송신단으로 코드워드 인덱스를 전달할 수 있다.

[131] 단계 S750에서 송신단은 수신단으로부터 수신된 코드워드 인덱스에 기초하여 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[132] 예를 들어, 송신단은 도 4와 같은 신경망 연산을 다시 수행하는 것이 아니라, 수신단으로부터 피드백되는 인덱스에 기초하여 빔포밍 벡터(또는 프리코더)를 단순 선택할 수 있다. 예를 들어, 송신단에서는 코드워드 인덱스와 빔포밍 벡터의 일-대-일 매핑 관계에 기초한 룩업 테이블을 구성할 수도 있다.

[133] 따라서, 신경망 훈련이 완료된 후 제한된 피드백 시스템의 적용에 있어서, 송신단에서의 신경망 연산은 필요하지 않다. 따라서, 적용에 있어서 송신단에서의 계산 복잡도는 고려되지 않을 수 있다.

[134] 단계 S760에서 송신단은 빔포밍 기반 전송을 수행할 수 있다.

[135] 예를 들어, 송신단은 단계 S750에서 피드백 정보에 기초하여 결정된 빔포밍 벡터를 그대로 이용할 수도 있지만, 이와 다른 빔포밍 벡터를 최적의 빔포밍 벡터로서 결정할 수도 있다. 송신단은 이와 같이 결정된 빔포밍 벡터를 수신단으로의 전송에 적용할 수 있다.

[136] 본 개시는 발명은 기존의 통신 시스템에서 활용되는 벡터 양자화 기법에 기반한 코드북 설계 방식으로, 한정된 주파수 대역을 활용해야하는 FDD (Frequency Division Duplexing) 전송 시스템에서 구현 관점 이득 및 통신 품질 향상에 기여할 수 있다.

[137] 전술한 본 개시의 예시들에 따르면, 머신 러닝에 기반한 벡터 양자화를 적용하여 양자화 손실 또는 경사 소실을 방지함으로써 최적의 코드북을 도출할 수 있다. 또한, 본 개시의 예시들은 채널 정보뿐만 아니라 수신 신호로부터 프리코더를 도출할 수 있다. 특히, 본 개시의 예시들은 특정 값을 가져야 하는 이진화 구조에 비하여 높은 양자화 표현 자유도를 지원함으로써, 보다 향상된 양자화 성능을 얻을 있다. 또한, 본 개시의 예시들은 한정된 주파수 대역을 활용해야 하는 FDD 시스템에서 구현 복잡도를 줄이고 통신 품질을 향상시킬 수 있다.

[138] 도 8은 본 개시에 따른 수신 장치 및 송신 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[139] 수신 장치(800)는 프로세서(810), 안테나부(820), 트랜시버(830), 메모리(840)를 포함할 수 있다.

[140] 프로세서(810)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(811) 및 물리계층 처리부(815)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(811)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(815)는 PHY 계층의 동작(예를 들어, 상향링크/하향링크/사이드링크 상의 송신/수신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(810)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 수신 장치(800) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.

[141] 안테나부(820)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의

안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(830)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(840)는 프로세서(810)의 연산 처리된 정보, 수신 장치(800)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.

[142] 수신 장치(800)의 프로세서(810)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 수신단의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.

[143] 예를 들어, 수신 장치(800)의 프로세서(810)의 상위계층 처리부(811)는 완전 연결 레이어 연산부(812), 정규화 연산부(813), 및 피드백 정보 생성부(814)를 포함할 수 있다.

[144] 프로세서(810)는 안테나부(820) 및 트랜시버(830)를 통하여 수신되는 신호에 기초하여, 입력 H를 생성할 수 있다. 입력 H는 수신 신호 및/또는 채널 정보를 포함할 수 있으며, 메모리(840)에 저장될 수 있다.

[145] 완전 연결 레이어 연산부(812)는 입력 H에 기초하여 특징 행렬 G를 출력할 수 있다. 정규화 연산부(813)는 특징 행렬 G에 기초하여 정규화된 특징 행렬

$$\bar{G}$$

를 출력할 수 있다.

[146] 피드백 정보 생성부(814)는, 오프라인 과정에서, 정규화된 특징 행렬과 코드북 내 코드워드 후보들($c_1, c_2, \ldots,$

$$C_{2^B}$$

)에 기초하여, 선택 벡터 $e_{i^*}$를 출력할 수 있다. 여기서, 선택 벡터 $e_{i^*}$는 0이 아닌 요소를 하나 이상 가질 수 있으며, 코드워드 후보들 중의 하나 이상의 가중치 기반 조합에 해당하는 (코드북에 포함되지 않은) 하나의 코드워드를 지시할 수 있다.

[147] 피드백 정보 생성부(814)는, 온라인 과정에서, 정규화된 특징 행렬에 기초하여 코드북 내 코드워드 후보들 중 특정 하나를 지시하는 코드워드 인덱스 정보를 생성할 수 있다.

[148] 프로세서(810)는 물리계층 처리부(815)를 통하여 피드백 정보에 대한 송신 처리(예를 들어, 부호화, 채널 코딩, 물리 자원 매핑, 전송 신호 생성 등)를 수행하고, 트랜시버(830)를 통하여 피드백 정보를 송신 장치(850)로 전송할 수 있다.

[149] 송신 장치(850)는 프로세서(860), 안테나부(870), 트랜시버(880), 메모리(890)를 포함할 수 있다.

[150] 프로세서(860)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(861) 및 물리계층 처리부(865)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(861)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(865)는 PHY 계층의 동작(예를 들어,

상향링크/하향링크/사이드링크 상의 송신/수신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(860)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 송신 장치(860) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.

[151] 안테나부(870)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의 안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(880)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(890)는 프로세서(860)의 연산 처리된 정보, 송신 장치(850)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.

[152] 송신 장치(850)의 프로세서(860)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 송신단의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.

[153] 예를 들어, 송신 장치(850)의 프로세서(860)의 상위계층 처리부(861)는 코드워드 결정부(862), 완전 연결 레이어 연산부(863), 정규화 연산부(864)를 포함할 수 있다.

[154] 프로세서(860)는 트랜시버(880) 및 안테나부(870)를 통하여 수신 장치(800)로 신호를 전송할 수 있다.

[155] 프로세서(860)는 트랜시버(880)를 통하여 수신 장치(800)로부터 피드백 정보를 수신할 수 있다. 수신된 피드백 정보는 메모리(890)에 저장될 수 있다.

[156] 코드워드 결정부(862)는 피드백 정보에 기초하여 코드워드를 결정할 수 있다. 예를 들어, 오프라인 과정에서 코드워드 결정부(862)는 선택 벡터 $e^{i*}$에 기초하여 코드북 내 코드워드 후보들 중의 하나 이상의 가중치 기반 조합에 해당하는 (코드북에 포함되지 않은) 하나의 코드워드를 결정할 수 있다. 또는, 온라인 과정에서 코드워드 결정부(862) 코드워드 인덱스에 기초하여 코드북 내 코드워드 후보들 중의 특정 하나를 결정할 수 있고, 결정된 코드워드를 참고하여 송신단으로부터 수신단으로 전송되는 신호에 대한 빔포밍이 적용될 수 있다.

[157] 완전 연결 레이어 연산부(863) 및 정규화 연산부(864)는 오프라인 과정에서 동작할 수 있다. 완전 연결 레이어 연산부(863)는 하나 이상의 선택 벡터에 의해 결정되는 하나 이상의 코드워드에 기초하여 특징 행렬 G'를 출력할 수 있다. 정규화 연산부(864)는 특징 행렬 G'에 기초하여

$$\bar{G}'$$

를 출력할 수 있다. 이와 같이 복원된 특징 행렬

$$\bar{G}'$$

는 프리코더 W로서 출력되어, 신경망 훈련 및 코드북 업데이트에 적용될 수 있다.

[158] 수신 장치(800) 및 송신 장치(850)의 동작에 있어서 본 발명의 예시들에서 수신단(100) 및 송신단(200)에 대해서 설명한 사항이 동일하게 적용될 수 있으며, 중복되는 설명은 생략한다.

[159] 도 9는 본 개시에 따른 제한된 피드백 시스템에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

[160] 도 9의 예시에서는 다중 안테나 시스템에서의 피드백 비트 수의 변화에 따른 양자화 손실을 나타낸다. 여기서, 송신단 안테나 수는 4개($N_t$=4), 수신단 안테나 수는 1개($N_r$=1)로 가정하였다. 채널 모델은 rayleigh fading 특징을 지니는 채널을 사용했으며, 양자화 손실을 나타내는 지표 및 신경망 훈련에 사용되는 손실 함수로서 수학식 10에서 정의하는

$\mathcal{L}$

을 사용하였다.

[161] [수식10]

$$\mathcal{L} = \frac{1}{N_r}\|\overline{\mathrm{H}}\overline{\mathrm{H}}^{H} - \mathrm{W}\mathrm{W}^{H}\|_2^2$$

[162] 여기서

$\overline{H}$

는 최적의 프리코더 행렬을 의미하며, 채널 H의 SVD 연산을 통해 얻은 값 중 $N_r$ 개의 right singular 벡터를 추출함으로써 얻어질 수 있다. 수학식 10은 수학식 11의 시스템의 전송량(capacity, C)을 결정 짓는 요소와 밀접한 관련이 있다.

[163] [수식11]

$$C = \log_2 \det\left(\mathrm{I} + \frac{\mathrm{E_s}}{\sigma_\mathrm{n}^2}\mathrm{W}^{H}\mathrm{H}^{H}\mathrm{H}\mathrm{W}\right)$$

[164] 도 9의 예시에서 DNN w/ VQ (proposed) 는 본 개시의 예시에 따른 심층신경망 기반 벡터 양자화(VQ) 기법에 따른 시뮬레이션 결과이고, 비교 대상이 되는 DNN w/ binarization은 이진화 기법에 따른 시뮬레이션 결과이다. 피드백 비트수가 증가할수록 본 개시에 따른 방법의 손실이 더 적으므로, 비교 대상에 비하여 양자화 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

[165] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리즈로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.

[166] 본 개시의 다양한 실시예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시예에서 설명하는 사항들은

독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.

[167] 또한, 본 개시의 다양한 실시예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.

[168] 본 개시의 범위는 다양한 실시예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어 또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

## 산업상 이용가능성

[169] 본 개시의 예시들은 다양한 무선 통신 시스템에서 제한된 피드백 방안에 대해 적용될 수 있다.

# 청구범위

[청구항 1] 무선 통신 시스템에서 수신단에 의해 선택 벡터를 피드백하는 방법으로서, 상기 방법은:
송신단으로부터의 수신 신호에 기초하여 특징 행렬을 획득하는 단계;
상기 특징 행렬에 기초하여, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터를 획득하는 단계; 및
상기 선택 벡터를 상기 송신단으로 피드백하는 단계를 포함하고,
상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함하는, 방법.

[청구항 2] 제 1 항에 있어서,
상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보 중에서 하나 이상에 대한 가중치 기반 조합을 특정하는, 방법.

[청구항 3] 제 2 항에 있어서,
상기 선택 벡터는, 상기 특징 행렬에 대한 정규화가 적용된 정규화된 특징 행렬에 기초하여 획득되는, 방법.

[청구항 4] 제 3 항에 있어서,
상기 정규화는 행-단위 정규화인, 방법.

[청구항 5] 제 3 항에 있어서,
상기 선택 벡터 $e_{i^*}$의 1 번째 요소인 $e_{i^*,1}$은 아래의 수학식으로 표현되고:

$$e_{i^\star,l} = \frac{\|\overline{G}\,c_l\|^\alpha}{\sum_{j=1}^{2^B}\|\overline{G}\,c_j\|^\alpha}$$

여기서, $\overline{G}$ 는 상기 정규화된 특징 행렬이고,
$c_x$는 상기 하나 이상의 코드워드 중에서 x 번째 코드워드이고,
$2^B$는 상기 하나 이상의 코드워드의 개수에 해당하고,
$\alpha$는 소정의 양의 실수인, 방법.

[청구항 6] 제 1 항에 있어서,
상기 특징 행렬은 완전 연결 레이어를 통하여 획득되는, 방법.

[청구항 7] 제 1 항에 있어서,
상기 수신 신호는 채널 정보를 포함하는, 방법.

[청구항 8] 무선 통신 시스템에서 송신단에 의해 프리코더를 결정하는 방법으로서,
상기 방법은,
수신단으로부터 하나 이상의 선택 벡터를 수신하는 단계;

상기 하나 이상의 선택 벡터를 이용하여 하나 이상의 코드워드를 획득하는 단계; 및
상기 하나 이상의 코드워드에 기초하여 프리코더를 결정하는 단계를 포함하고,
상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각은, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고,
하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함하는, 방법.

[청구항 9] 제 8 항에 있어서,
상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각은, 상기 하나 이상의 코드워드 후보 중에서 하나 이상에 대한 가중치 기반 조합을 특정하는, 방법.

[청구항 10] 제 8 항에 있어서,
상기 하나 이상의 코드워드의 각각은, 상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각과 상기 미리 결정된 코드북의 곱에 의해서 획득되는, 방법.

[청구항 11] 제 8 항에 있어서,
상기 프리코더는, 상기 하나 이상의 코드워드에 기초한 특징 행렬에 기초하여 결정되는, 방법.

[청구항 12] 제 11 항에 있어서,
상기 특징 행렬은 상기 하나 이상의 코드워드에 기초한 완전 연결 레이어를 통하여 획득되는, 방법.

[청구항 13] 제 11 항에 있어서,
상기 프리코더는, 상기 특징 행렬에 대한 정규화가 적용된 정규화된 특징 행렬에 기초하여 획득되는, 방법.

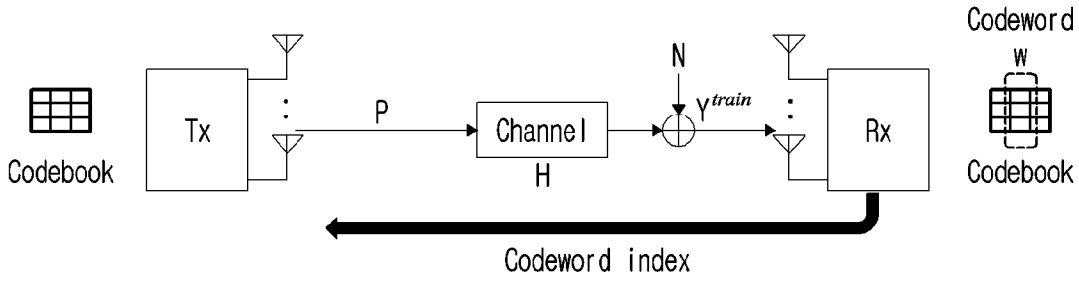
[청구항 14] 제 13 항에 있어서,
상기 정규화는 행-단위 정규화인, 방법.

[청구항 15] 무선 통신 시스템에서 피드백을 수행하는 수신 장치로서,
트랜시버;
안테나부;
메모리; 및
프로세서를 포함하고,
상기 프로세서는,
상기 송신단으로부터 상기 트래시버를 통하여 수신되고 상기 메모리에 저장된 수신 신호에 기초하여 특징 행렬을 획득하여 상기 메모리에 저장하고;
상기 특징 행렬에 기초하여, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터를 획득하여 상기 메모리에 저장하고; 및
상기 선택 벡터를 상기 트랜시버를 통하여 상기 송신단으로 피드백하도록 설정되고,
상기 선택 벡터는 상기 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한

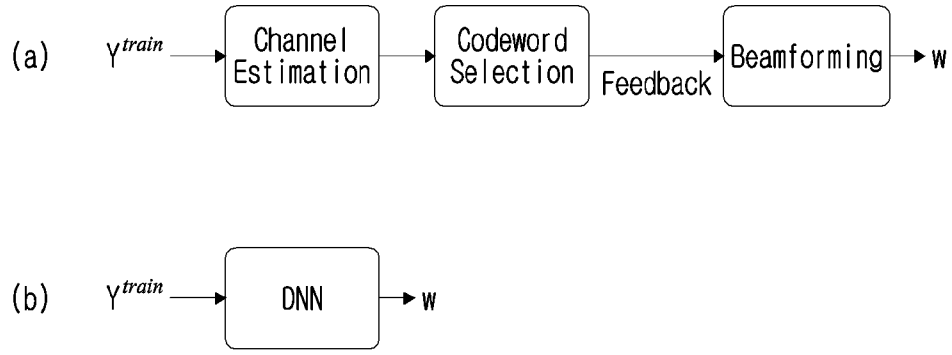
개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함하는, 장치.

[청구항 16] 무선 통신 시스템에서 프리코더를 결정하는 송신 장치로서,
트랜시버;
안테나부;
메모리; 및
프로세서를 포함하고,
상기 프로세서는,
수신단으로부터 하나 이상의 선택 벡터를 상기 트랜시버를 통하여 수신하여 상기 메모리에 저장하고;
상기 하나 이상의 선택 벡터를 이용하여 하나 이상의 코드워드를 획득하여 상기 메모리에 저장하고; 및
상기 하나 이상의 코드워드에 기초하여 프리코더를 결정하도록 설정되며,
상기 하나 이상의 선택 벡터의 각각은, 미리 결정된 코드북에 포함되는 하나 이상의 코드워드 후보의 개수와 동일한 개수의 요소들로 구성되고, 하나 이상의 0이 아닌 요소를 포함하는, 장치.

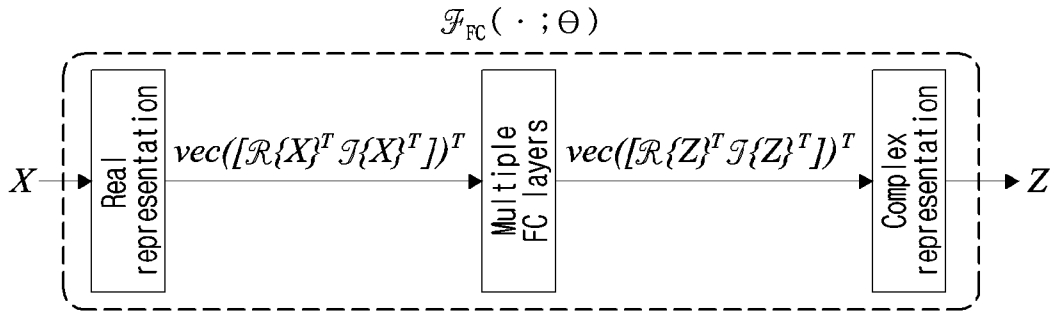
[도1]


Codeword
w
N
Tx
P
Channel
H
$Y^{train}$
Rx
Codebook
Codebook
Codeword index

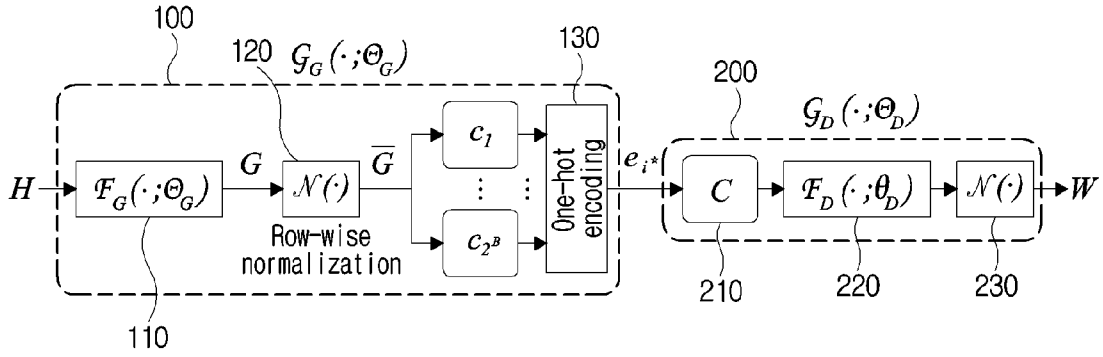
[도2]


(a)
$Y^{train}$
Channel Estimation
Codeword Selection
Feedback
Beamforming
w
(b)
$Y^{train}$
DNN
w

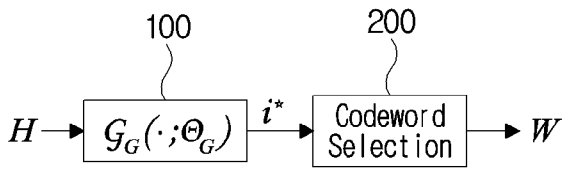
[도3]


$\mathcal{F}_{FC}(\cdot;\Theta)$
X
Real representation
$vec([\mathcal{R}\{X\}^T \mathcal{I}\{X\}^T])^T$
Multiple FC layers
$vec([\mathcal{R}\{Z\}^T \mathcal{I}\{Z\}^T])^T$
Complex representation
Z

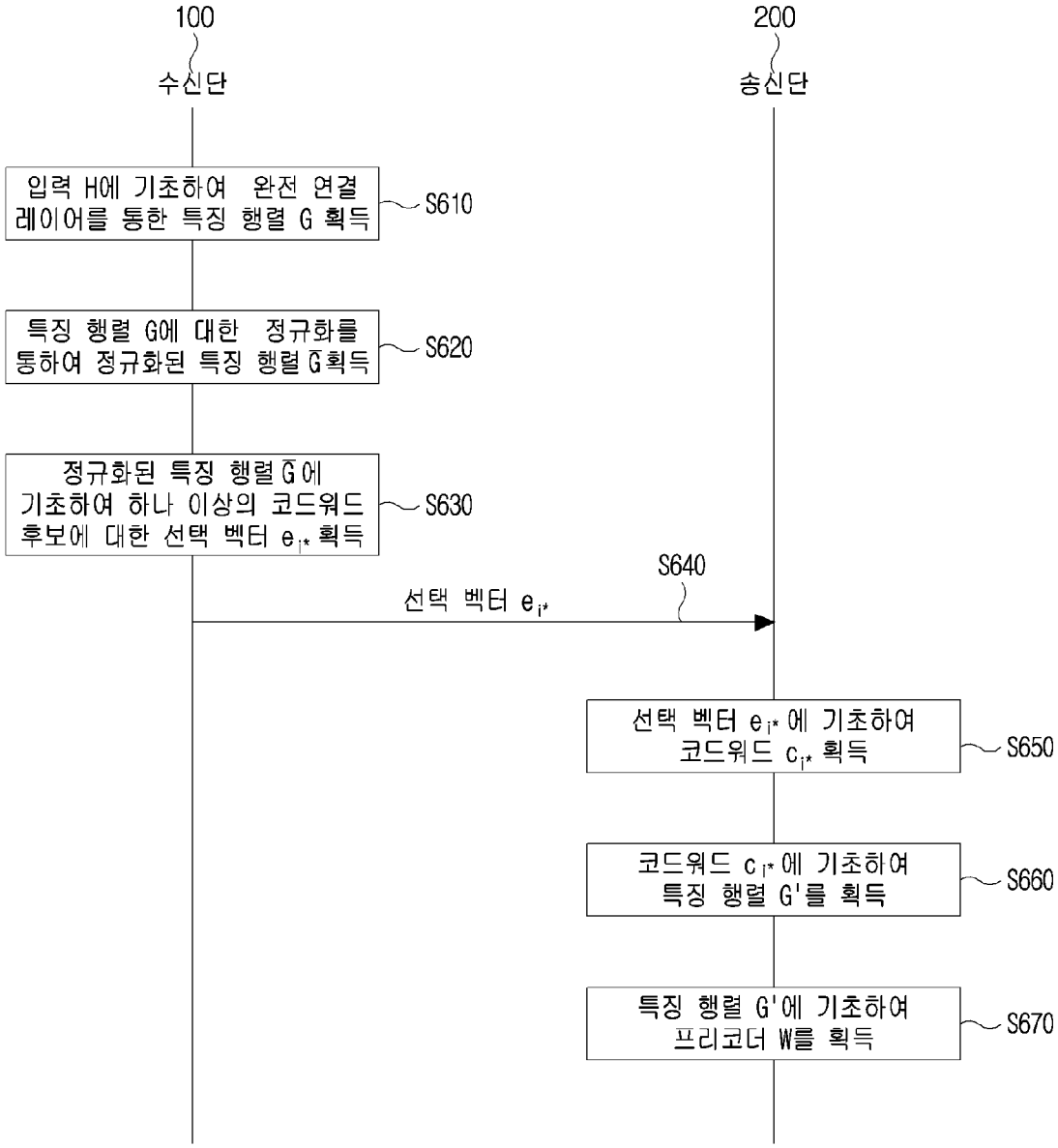
[도4]


100
120
$\mathcal{G}_G(\cdot;\Theta_G)$
130
200
$\mathcal{G}_D(\cdot;\Theta_D)$
H
$\mathcal{F}_G(\cdot;\Theta_G)$
G
$\mathcal{N}(\cdot)$
$\overline{G}$
Row-wise normalization
$c_1$
$c_{2^B}$
One-hot encoding
$e_{i^*}$
C
$\mathcal{F}_D(\cdot;\theta_D)$
$\mathcal{N}(\cdot)$
W
110
210
220
230

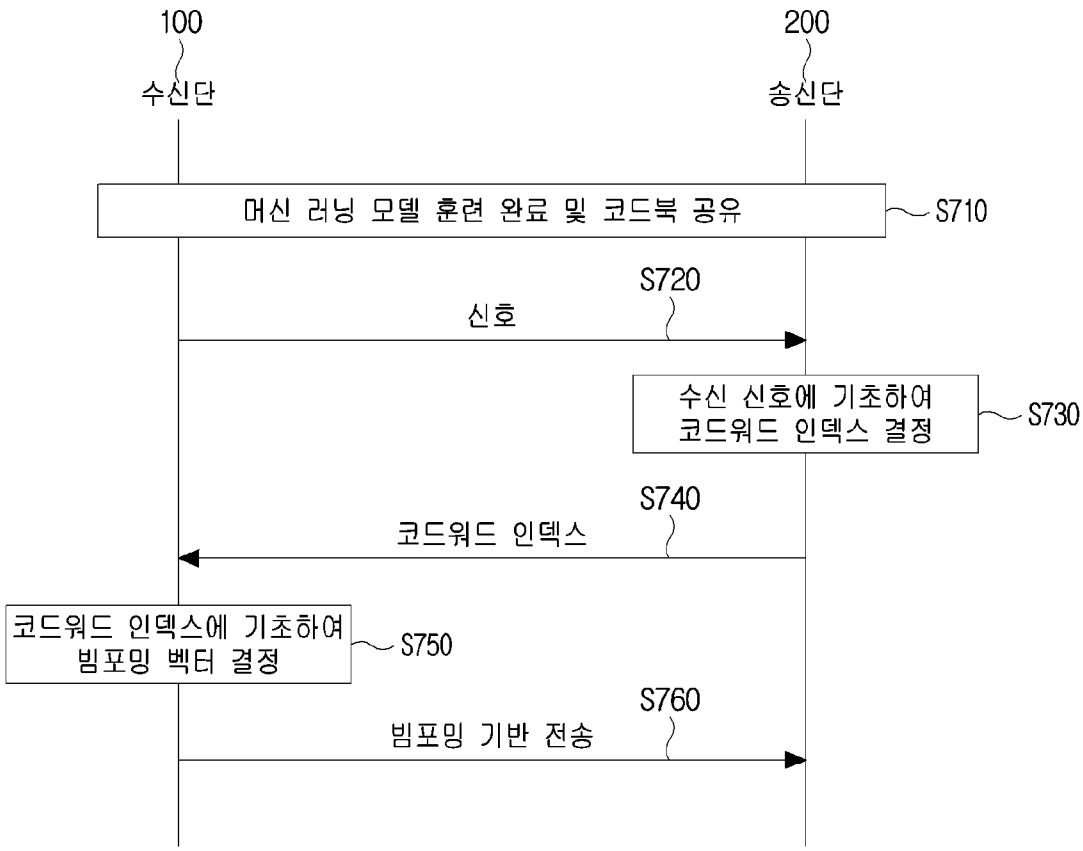
[도5]


100
200
H
$\mathcal{G}_G(\cdot;\Theta_G)$
$i^*$
Codeword Selection
W

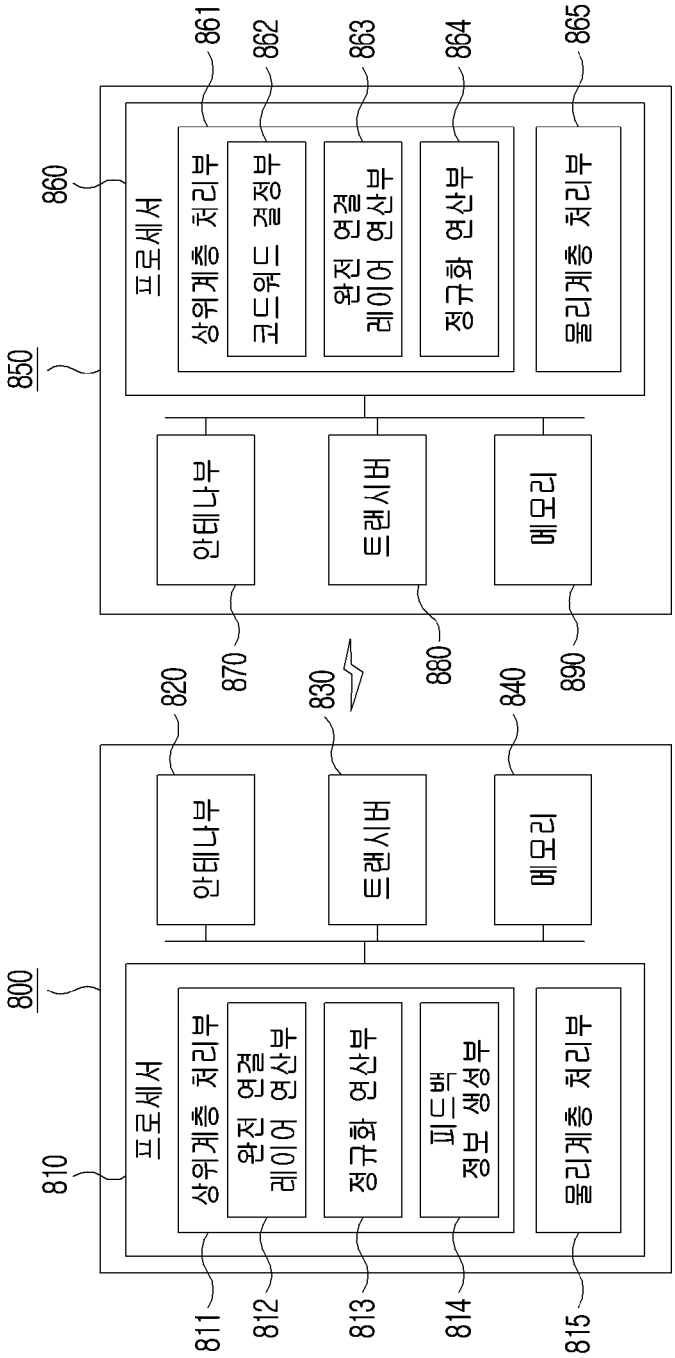
[도6]


100
수신단
200
송신단
입력 H에 기초하여 완전 연결 레이어를 통한 특징 행렬 G 획득
S610
특징 행렬 G에 대한 정규화를 통하여 정규화된 특징 행렬 $\bar{G}$획득
S620
정규화된 특징 행렬 $\bar{G}$에 기초하여 하나 이상의 코드워드 후보에 대한 선택 벡터 $e_{i^*}$ 획득
S630
S640
선택 벡터 $e_{i^*}$
선택 벡터 $e_{i^*}$에 기초하여 코드워드 $c_{i^*}$ 획득
S650
코드워드 $c_{i^*}$에 기초하여 특징 행렬 G'를 획득
S660
특징 행렬 G'에 기초하여 프리코더 W를 획득
S670

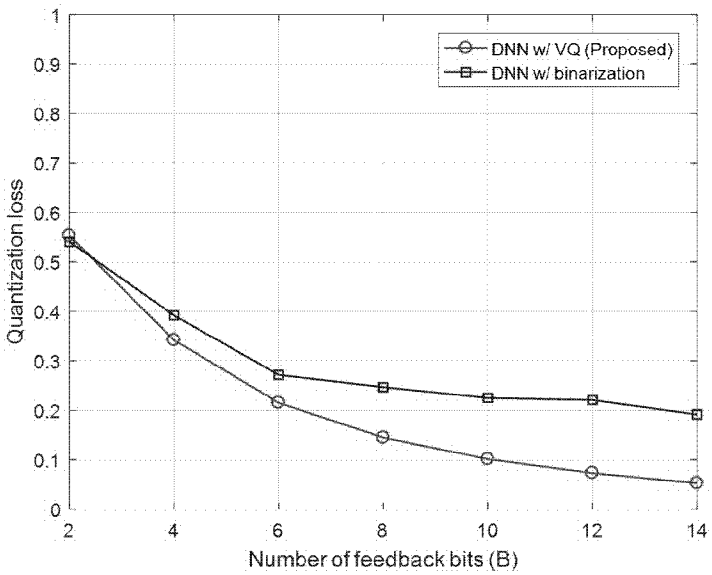
[도7]


100
수신단
200
송신단
머신 러닝 모델 훈련 완료 및 코드북 공유
S710
S720
신호
수신 신호에 기초하여
코드워드 인덱스 결정
S730
S740
코드워드 인덱스
코드워드 인덱스에 기초하여
빔포밍 벡터 결정
S750
S760
빔포밍 기반 전송

[도8]


800
810
프로세서
상위계층 처리부
완전 연결 레이어 연산부
정규화 연산부
피드백 정보 생성부
물리계층 처리부
811
812
813
814
815
820
안테나부
830
트랜시버
840
메모리
870
880
890
850
860
프로세서
상위계층 처리부
코드워드 결정부
완전 연결 레이어 연산부
정규화 연산부
물리계층 처리부
861
862
863
864
865
안테나부
트랜시버
메모리

[도9]


DNN w/ VQ (Proposed)
DNN w/ binarization
Quantization loss
Number of feedback bits (B)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
2
4
6
8
10
12
14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
**PCT/KR2021/018951**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**H04B 7/06**(2006.01)i; **H04B 7/0417**(2017.01)i; **H04B 7/0456**(2017.01)i; **G06N 20/00**(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B 7/06(2006.01); G06N 3/02(2006.01); H04B 7/02(2006.01); H04B 7/0413(2017.01); H04B 7/0456(2017.01); H04L 1/02(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 선택 벡터(selection vector), 코드워드(codeword), 코드북(codebook), 피드백(feedback)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | JANG, Jeonghyeon et al. Deep Learning-based Limited Feedback Designs for MIMO Systems. arXiv:1912.09043v1 [cs.IT]. 19 December 2019.<br>See sections II.A and III-III.A. | 1-16 |
| A | US 8325846 B2 (KO, Hyun Soo et al.) 04 December 2012 (2012-12-04)<br>See column 24, line 54 – column 25, line 18. | 1-16 |
| A | CN 107733482 A (BEIJING XINWEI COMMUNICATIONS TECHNOLOGICAL CO., LTD.) 23 February 2018 (2018-02-23)<br>See paragraphs [0013]-[0036]. | 1-16 |
| A | KR 10-2020-0062653 A (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 June 2020 (2020-06-04)<br>See claim 1; and figure 1. | 1-16 |
| A | WEN, Chao-Kai et al. Deep Learning for Massive MIMO CSI Feedback. arXiv:1712.08919v4 [cs.IT]. 23 April 2018.<br>See sections II-III. | 1-16 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| **10 August 2022** | **10 August 2022** |

| Name and mailing address of the ISA/KR | Authorized officer |
|---|---|
| **Korean Intellectual Property Office**<br>**Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 35208** | |
| Facsimile No. **+82-42-481-8578** | Telephone No. |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**
**Information on patent family members**

International application No.
**PCT/KR2021/018951**

| Patent document cited in search report | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |
|---|---|---|---|
| US 8325846 B2 | 04 December 2012 | CN 102138287 A | 27 July 2011 |
| | | CN 102138287 B | 27 November 2013 |
| | | CN 102349243 A | 08 February 2012 |
| | | CN 102349243 B | 19 March 2014 |
| | | CN 102804630 A | 28 November 2012 |
| | | CN 102804630 B | 29 July 2015 |
| | | EP 2309658 A2 | 13 April 2011 |
| | | EP 2309658 B1 | 28 February 2018 |
| | | EP 2398157 A2 | 21 December 2011 |
| | | EP 2398157 A4 | 19 July 2017 |
| | | EP 2398157 B1 | 03 April 2019 |
| | | EP 2448143 A2 | 02 May 2012 |
| | | EP 2448143 B1 | 27 February 2019 |
| | | ES 2663273 T3 | 11 April 2018 |
| | | JP 2011-529660 A | 08 December 2011 |
| | | JP 2012-517761 A | 02 August 2012 |
| | | JP 2012-531804 A | 10 December 2012 |
| | | JP 2013-201788 A | 03 October 2013 |
| | | JP 5315412 B2 | 16 October 2013 |
| | | JP 5416789 B2 | 12 February 2014 |
| | | JP 5628973 B2 | 19 November 2014 |
| | | KR 10-1027237 B1 | 06 April 2011 |
| | | KR 10-1056614 B1 | 11 August 2011 |
| | | KR 10-1068741 B1 | 28 September 2011 |
| | | KR 10-1569215 B1 | 16 November 2015 |
| | | KR 10-2010-0013251 A | 09 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0013252 A | 09 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0013263 A | 09 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0019948 A | 19 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0019970 A | 19 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0019973 A | 19 February 2010 |
| | | KR 10-2010-0092917 A | 23 August 2010 |
| | | KR 10-2011-0000536 A | 03 January 2011 |
| | | KR 10-2011-0081946 A | 15 July 2011 |
| | | US 2011-0128917 A1 | 02 June 2011 |
| | | US 2011-0134902 A1 | 09 June 2011 |
| | | US 2011-0135033 A1 | 09 June 2011 |
| | | US 2011-0142001 A1 | 16 June 2011 |
| | | US 2011-0158219 A1 | 30 June 2011 |
| | | US 2011-0310994 A1 | 22 December 2011 |
| | | US 2012-0093120 A1 | 19 April 2012 |
| | | US 2012-0213310 A1 | 23 August 2012 |
| | | US 2014-0334460 A1 | 13 November 2014 |
| | | US 8107455 B2 | 31 January 2012 |
| | | US 8194778 B2 | 05 June 2012 |
| | | US 8358611 B2 | 22 January 2013 |
| | | US 8532217 B2 | 10 September 2013 |
| | | US 8553620 B2 | 08 October 2013 |
| | | US 8711828 B2 | 29 April 2014 |
| | | US 8842623 B2 | 23 September 2014 |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**
**Information on patent family members**

International application No.
**PCT/KR2021/018951**

| Patent document cited in search report | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date (day/month/year) |
|---|---|---|---|
| | | US 9401789 B2 | 26 July 2016 |
| | | WO 2010-013919 A2 | 04 February 2010 |
| | | WO 2010-013919 A3 | 14 May 2010 |
| | | WO 2010-013949 A2 | 04 February 2010 |
| | | WO 2010-013949 A3 | 17 June 2010 |
| | | WO 2010-013949 A9 | 29 April 2010 |
| | | WO 2010-013950 A2 | 04 February 2010 |
| | | WO 2010-013950 A3 | 14 May 2010 |
| | | WO 2010-018957 A2 | 18 February 2010 |
| | | WO 2010-018957 A3 | 27 May 2010 |
| | | WO 2010-018983 A2 | 18 February 2010 |
| | | WO 2010-018983 A3 | 03 June 2010 |
| | | WO 2010-093226 A2 | 19 August 2010 |
| | | WO 2010-093226 A3 | 25 November 2010 |
| | | WO 2010-151092 A2 | 29 December 2010 |
| | | WO 2010-151092 A3 | 21 April 2011 |
| CN 107733482 A | 23 February 2018 | None | |
| KR 10-2020-0062653 A | 04 June 2020 | KR 10-2168650 B1 | 21 October 2020 |

# 국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
**PCT/KR2021/018951**

**A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**

**H04B 7/06**(2006.01)i; **H04B 7/0417**(2017.01)i; **H04B 7/0456**(2017.01)i; **G06N 20/00**(2019.01)i

**B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H04B 7/06(2006.01); G06N 3/02(2006.01); H04B 7/02(2006.01); H04B 7/0413(2017.01); H04B 7/0456(2017.01); H04L 1/02(2006.01)

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 선택 벡터(selection vector), 코드워드(codeword), 코드북(codebook), 피드백(feedback)

**C. 관련 문헌**

| 카테고리* | 인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재 | 관련 청구항 |
|---|---|---|
| A | JEONGHYEON JANG 등, `Deep Learning-based Limited Feedback Designs for MIMO Systems', arXiv:1912.09043v1 [cs.IT], 2019.12.19<br>섹션 II.A, III-III.A | 1-16 |
| A | US 8325846 B2 (HYUN SOO KO 등) 2012.12.04<br>컬럼 24, 라인 54 – 컬럼 25, 라인 18 | 1-16 |
| A | CN 107733482 A (BEIJING XINWEI COMMUNICATIONS TECHNOLOGICAL CO., LTD.) 2018.02.23<br>단락 [0013]-[0036] | 1-16 |
| A | KR 10-2020-0062653 A (한국과학기술원) 2020.06.04<br>청구항1; 및 도면 1 | 1-16 |
| A | CHAO-KAI WEN 등, `Deep Learning for Massive MIMO CSI Feedback', arXiv:1712.08919v4 [cs.IT], 2018.04.23<br>섹션 II-III | 1-16 |

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☑ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌
"D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌
"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌
"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌
"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌
"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌
"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌
"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.
"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.
"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

| 국제조사의 실제 완료일 | 국제조사보고서 발송일 |
|---|---|
| **2022년08월10일(10.08.2022)** | **2022년08월10일(10.08.2022)** |


ISA/KR의 명칭 및 우편주소
**대한민국 특허청**
**(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)**
팩스 번호 **+82-42-481-8578**

심사관
**양정록**
전화번호 **+82-42-481-5709**

# 국 제 조 사 보 고 서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
**PCT/KR2021/018951**

| 국제조사보고서에서 인용된 특허문헌 | 공개일 | 대응특허문헌 | 공개일 |
|---|---|---|---|
| US 8325846 B2 | 2012/12/04 | CN 102138287 A | 2011/07/27 |
| | | CN 102138287 B | 2013/11/27 |
| | | CN 102349243 A | 2012/02/08 |
| | | CN 102349243 B | 2014/03/19 |
| | | CN 102804630 A | 2012/11/28 |
| | | CN 102804630 B | 2015/07/29 |
| | | EP 2309658 A2 | 2011/04/13 |
| | | EP 2309658 B1 | 2018/02/28 |
| | | EP 2398157 A2 | 2011/12/21 |
| | | EP 2398157 A4 | 2017/07/19 |
| | | EP 2398157 B1 | 2019/04/03 |
| | | EP 2448143 A2 | 2012/05/02 |
| | | EP 2448143 B1 | 2019/02/27 |
| | | ES 2663273 T3 | 2018/04/11 |
| | | JP 2011-529660 A | 2011/12/08 |
| | | JP 2012-517761 A | 2012/08/02 |
| | | JP 2012-531804 A | 2012/12/10 |
| | | JP 2013-201788 A | 2013/10/03 |
| | | JP 5315412 B2 | 2013/10/16 |
| | | JP 5416789 B2 | 2014/02/12 |
| | | JP 5628973 B2 | 2014/11/19 |
| | | KR 10-1027237 B1 | 2011/04/06 |
| | | KR 10-1056614 B1 | 2011/08/11 |
| | | KR 10-1068741 B1 | 2011/09/28 |
| | | KR 10-1569215 B1 | 2015/11/16 |
| | | KR 10-2010-0013251 A | 2010/02/09 |
| | | KR 10-2010-0013252 A | 2010/02/09 |
| | | KR 10-2010-0013263 A | 2010/02/09 |
| | | KR 10-2010-0019948 A | 2010/02/19 |
| | | KR 10-2010-0019970 A | 2010/02/19 |
| | | KR 10-2010-0019973 A | 2010/02/19 |
| | | KR 10-2010-0092917 A | 2010/08/23 |
| | | KR 10-2011-0000536 A | 2011/01/03 |
| | | KR 10-2011-0081946 A | 2011/07/15 |
| | | US 2011-0128917 A1 | 2011/06/02 |
| | | US 2011-0134902 A1 | 2011/06/09 |
| | | US 2011-0135033 A1 | 2011/06/09 |
| | | US 2011-0142001 A1 | 2011/06/16 |
| | | US 2011-0158219 A1 | 2011/06/30 |
| | | US 2011-0310994 A1 | 2011/12/22 |
| | | US 2012-0093120 A1 | 2012/04/19 |
| | | US 2012-0213310 A1 | 2012/08/23 |
| | | US 2014-0334460 A1 | 2014/11/13 |
| | | US 8107455 B2 | 2012/01/31 |
| | | US 8194778 B2 | 2012/06/05 |
| | | US 8358611 B2 | 2013/01/22 |
| | | US 8532217 B2 | 2013/09/10 |
| | | US 8553620 B2 | 2013/10/08 |
| | | US 8711828 B2 | 2014/04/29 |
| | | US 8842623 B2 | 2014/09/23 |

# 국 제 조 사 보 고 서
## 대응특허에 관한 정보

국제출원번호
**PCT/KR2021/018951**

| 국제조사보고서에서 인용된 특허문헌 | 공개일 | 대응특허문헌 | 공개일 |
|---|---|---|---|
| | | US 9401789 B2 | 2016/07/26 |
| | | WO 2010-013919 A2 | 2010/02/04 |
| | | WO 2010-013919 A3 | 2010/05/14 |
| | | WO 2010-013949 A2 | 2010/02/04 |
| | | WO 2010-013949 A3 | 2010/06/17 |
| | | WO 2010-013949 A9 | 2010/04/29 |
| | | WO 2010-013950 A2 | 2010/02/04 |
| | | WO 2010-013950 A3 | 2010/05/14 |
| | | WO 2010-018957 A2 | 2010/02/18 |
| | | WO 2010-018957 A3 | 2010/05/27 |
| | | WO 2010-018983 A2 | 2010/02/18 |
| | | WO 2010-018983 A3 | 2010/06/03 |
| | | WO 2010-093226 A2 | 2010/08/19 |
| | | WO 2010-093226 A3 | 2010/11/25 |
| | | WO 2010-151092 A2 | 2010/12/29 |
| | | WO 2010-151092 A3 | 2011/04/21 |
| CN 107733482 A | 2018/02/23 | 없음 | |
| KR 10-2020-0062653 A | 2020/06/04 | KR 10-2168650 B1 | 2020/10/21 |