



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0169322
(43) 공개일자 2022년12월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) G06N 3/08 (2006.01)
H04L 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0658 (2013.01)
G06N 3/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0079614
(22) 출원일자 2021년06월18일
심사청구일자 2021년06월18일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
소재우
서울특별시 마포구 백범로 35, R관 709호
조상욱
서울특별시 은평구 백련산로 67, 105동 601호(응암동, 백련산파크자이)
(74) 대리인
특허법인로얄

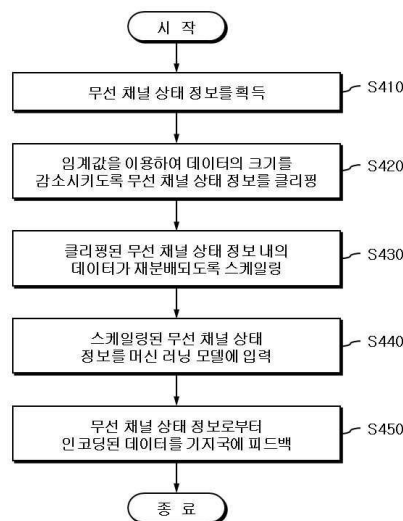
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 무선 채널 상태 정보의 피드백을 위한 데이터 처리 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 이동 통신 시스템에서 단말과 기지국 간의 무선 채널 상태 정보(channel state information, CSI)를 처리하는 기술에 관한 것으로, 단말에 의해, 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력한다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H04B 7/0626 (2013.01)

H04L 1/0026 (2013.01)

H04L 1/0029 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117692
과제번호	2020R1F1A1065109
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	밀리미터파 차량통신 네트워크에서 무선 상황인식 기반 빔관리 요소기술 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	서강대학교 산학협력
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	202046017
과제번호	S2950045
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	중소기업기술개발지원사업
연구과제명	AI 기반 비대면 무인티켓발권기를 위한 통신 기술 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	서강대학교 산학협력단
연구기간	2020.10.20 ~ 2021.10.19

명세서

청구범위

청구항 1

단말이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법에 있어서,

단말이 무선 채널 상태 정보를 획득하는 단계;

상기 단말이 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하는 단계;

상기 단말이 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하는 단계; 및

상기 단말이 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력하는 단계;를 포함하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 무선 채널 상태 정보를 획득하는 단계는,

기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하는 단계;

설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하는 단계; 및

설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성하는 단계;를 포함하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 희소화된 채널 행렬은,

지연 도메인(delay domain)에서 제한된 다중 경로 시간 지연으로 인해 초기 일부 행의 데이터만을 유지하도록 잘린 행렬인, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 클리핑하는 단계는,

데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하는 단계;

입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하는 단계; 및

비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력하는 단계;를 포함하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 임계값을 설정하는 단계는,

머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값을 설정하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 스케일링하는 단계는,

클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하는 단계; 및

머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성하는 단계;를 포함하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델에 입력하는 단계는,

스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델은,

무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축하는 CNN(Convolutional Neural Network); 또는

무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 오토 인코더(Auto-Encoder); 중 어느 하나인, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 단말이 상기 머신 러닝 모델에 입력되어 상기 무선 채널 상태 정보로부터 인코딩된 데이터를 기지국에 피드백하는 단계;를 더 포함하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 10

기지국이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법에 있어서,

기지국이 단말로부터 머신 러닝 모델에 따라 인코딩된 데이터를 수신하는 단계; 및

상기 기지국이 상기 단말의 인코더(encoder)에 대응하는 머신 러닝 모델의 디코더(decoder)를 이용하여 상기 인코딩된 데이터를 디코딩함으로써 무선 채널 상태 정보를 재구성하는 단계;를 포함하고,

상기 인코딩된 데이터는,

단말에 의해, 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력함으로써 생성되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 인코딩된 데이터는,

단말에 의해, 기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써 획득되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 인코딩된 데이터는,

단말에 의해, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 임계값은,

머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 설정되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 인코딩된 데이터는,

단말에 의해, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 인코딩된 데이터는,

단말에 의해, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩함으로써 생성되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 16

제 10 항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델은,

무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축하는 CNN(Convolutional Neural Network); 또는

무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 오토 인코더(Auto-Encoder); 중 어느 하나인, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법.

청구항 17

제 1 항 내지 제 16 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

청구항 18

단말에 구비되어 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 장치에 있어서,

다중-입력 다중-출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)을 수행하는 통신 모듈; 및

상기 통신 모듈을 통해 기지국과 통신하여 무선 신호를 수신하고 무선 채널 상태 정보를 피드백하도록 제어하는

처리 모듈;을 포함하고,

상기 처리 모듈은,

무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력하여 인코딩된 데이터를 생성하도록 구성되는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 처리 모듈은,

기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써, 상기 무선 채널 상태 정보를 획득하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 처리 모듈은,

데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 처리 모듈은,

머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값을 설정하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치.

청구항 22

제 18 항에 있어서,

상기 처리 모듈은,

클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링하는, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 이동 통신 시스템에서 단말과 기지국 간의 무선 채널 상태 정보(channel state information, CSI)를 처리하는 기술에 관한 것으로, 특히 다중-입력 다중-출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) 이동 통신 시스템에서 머신 러닝(machine learning)을 이용하여 무선 채널 정보를 피드백(feedback)하는 경우 학습 모델에 입력되는 무선 채널 상태 정보를 정규화(normalization)하는 데이터 처리 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] MIMO는 미래 무선 통신의 핵심 기술이다. 기지국은 대량의 안테나 어레이를 사용하는 대량(Massive) MIMO를 사용하여 스펙트럼 효율성과 에너지 효율성을 증대시킬 수 있다. 대량 MIMO 시스템에서 사용자 단말(User Equipment, UE)은 기지국의 다중 안테나들에서 수신되는 신호들의 채널 상태 정보를 주기적으로 피드백하고, 기지국은 사용자 단말이 피드백하는 채널 상태 정보를 기반으로 순방향 스케줄링 내지 MIMO 서비스를 제공한다. 그러나, 기지국의 안테나 개수가 증가할수록 사용자 단말이 피드백하여야 하는 데이터의 양이 기하급수적으로 증가하는 문제가 지적되었다. 특히, 주파수와 전력의 증가 없이 안테나 수의 증가를 통해 전송 속도 및 전송 용량을 향상시키기 위한 MIMO 기술에서는 전송 오버헤드(overhead)를 감소시킬 방법과 채널 상태 정보를 교환하는 방법에 대한 개선이 꾸준히 요구되고 있다.

[0003] 이러한 피드백 오버헤드를 줄이기 위해 이하에서 제시되는 선행기술문헌에는 CNN(Convolutional Neural Network) 기반의 머신 러닝을 이용한 피드백 기법이 제안되었다. 그러나, 종래의 선행 연구들은 머신 러닝 구조에 중점을 둔 것으로 전송하는 피드백 정보의 정확도가 떨어지는 문제가 발견되었다. 따라서, 머신 러닝 알고리즘을 활용하여 MIMO 시스템에서의 오버헤드를 감소시키면서도 무선 채널 상태 정보의 피드백 정확도를 향상시키는 새로운 기술의 개발이 요구된다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0004] (비특허문헌 0001) C.-K. Wen, W.-T. Shih, and S. Jin, "Deep learning for massive MIMO CSI feedback," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 7, no. 5, pp. 748-751, Oct. 2018.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 무선 채널 상태 정보를 피드백하는 종래의 기술을 MIMO 시스템에 적용할 경우 급격하게 증가하는 데이터의 양으로 인해 전송 오버헤드가 발생하는 문제를 해결하고, 머신 러닝을 이용하여 데이터를 압축하는 기법을 도입하는 경우에 다량의 데이터로 인해 머신 러닝의 훈련 시간이 증가하거나 무선 채널 상태 정보의 피드백 정확도가 저하되는 한계를 극복하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 단말이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법은, 단말이 무선 채널 상태 정보를 획득하는 단계; 상기 단말이 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하는 단계; 상기 단말이 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하는 단계; 및 상기 단말이 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력하는 단계;를 포함한다.

[0007] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 무선 채널 상태 정보를 획득하는 단계는, 기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하는 단계; 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하는 단계; 및 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 회소화된 채널 행렬을 생성하는 단계;를 포함할 수 있다. 또한, 상기 회소화된 채널 행렬은, 지연 도메인(delay domain)에서 제한된 다중 경로 시간 지연으로 인해 초기 일부 행의 데이터만을 유지하도록 잘린 행렬일 수 있다.

[0008] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 클리핑하는 단계는, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하는 단계; 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하는 단계; 및 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력하는 단계;를 포함할 수 있다. 또한, 상기 임계값을 설정하는 단계는, 머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값을 설정할 수 있다.

[0009] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 스케일링하는 단계는, 클리핑된 상기 무

선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하는 단계; 및 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성하는 단계;를 포함할 수 있다.

- [0010] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 머신 러닝 모델에 입력하는 단계는, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 머신 러닝 모델은, 무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축하는 CNN(Convolutional Neural Network); 또는 무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 오토 인코더(Auto-Encoder); 중 어느 하나일 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법은, 상기 단말이 상기 머신 러닝 모델에 입력되어 상기 무선 채널 상태 정보로부터 인코딩된 데이터를 기지국에 피드백하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 기지국이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법은, 기지국이 단말로부터 머신 러닝 모델에 따라 인코딩된 데이터를 수신하는 단계; 및 상기 기지국이 상기 단말의 인코더(encoder)에 대응하는 머신 러닝 모델의 디코더(decoder)를 이용하여 상기 인코딩된 데이터를 디코딩함으로써 무선 채널 상태 정보를 재구성하는 단계;를 포함하고, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력함으로써 생성된다.
- [0014] 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써 획득될 수 있다.
- [0015] 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑될 수 있다. 또한, 상기 임계값은, 머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 설정될 수 있다.
- [0016] 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링될 수 있다.
- [0017] 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩함으로써 생성될 수 있다.
- [0018] 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서, 상기 머신 러닝 모델은, 무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축하는 CNN(Convolutional Neural Network); 또는 무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 오토 인코더(Auto-Encoder); 중 어느 하나일 수 있다.
- [0019] 한편, 이하에서는 상기 기재된 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법들을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [0020] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 단말에 구비되어 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 장치는, 다중-입력 다중-출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)을 수행하는 통신 모듈; 및 상기 통신 모듈을 통해 기지국과 통신하여 무선 신호를 수신

하고 무선 채널 상태 정보를 피드백하도록 제어하는 처리 모듈;을 포함하고, 상기 처리 모듈은, 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력하여 인코딩된 데이터를 생성하도록 구성된다.

[0021] 또 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치에서, 상기 처리 모듈은, 기지국으로부터 반환 송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써, 상기 무선 채널 상태 정보를 획득할 수 있다.

[0022] 또 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치에서, 상기 처리 모듈은, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑할 수 있다. 또한, 상기 처리 모듈은, 머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값을 설정할 수 있다.

[0023] 또 다른 실시예에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치에서, 상기 처리 모듈은, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 실시예들은, MIMO 이동 통신 시스템에서 데이터의 양이 폭증하는 상황 하에서도 데이터 전처리 과정을 통해 클리핑 및 스케일링을 수행하여 머신 러닝에 입력함으로써, 데이터의 압축 효과로 인해 무선 채널 상태 정보의 전송 오버헤드를 감소시키고, 데이터 정규화에 따른 머신 러닝의 성능 및 피드백 정확도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예들이 구현되는 이동 통신 시스템에서 무선 채널 상태 정보의 피드백을 위해 단말과 기지국이 주고받는 신호와 동작을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예들이 제안하는 MIMO 이동 통신 시스템에서 머신 러닝에 기반하여 무선 채널 상태 정보를 피드백함에 있어서 데이터의 전처리를 통해 정규화를 도모하는 기술적 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예들이 제안하는 도 2의 데이터 전처리의 세부 단계를 포함하여 무선 채널 상태 정보의 피드백 과정을 도시한 블록도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 단말이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법을 도시한 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 무선 채널 상태 정보를 획득하는 과정을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 클리핑하는 과정을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 스케일링하는 과정을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 기지국이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법을 도시한 흐름도이다.

도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 단말에 구비되어 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 장치를 도시한 블록도이다.

도 10은 본 발명의 실시예들에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법을 의사코드(pseudocode)로 구현한 데이터 정규화 알고리즘이다.

도 11은 시뮬레이션 결과로서 코드 워드 길이에 따른 NMSE(normalized mean square error) 성능을 예시한 그래프이다.

도 12는 시뮬레이션 결과로서 코드 워드 길이에 따른 코사인 유사성을 예시한 그래프이다.

도 13은 시뮬레이션 결과로서 학습 시간 경과에 따른 머신 러닝의 성능을 예시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명의 실시예들을 설명하기에 앞서, MIMO 이동 통신 환경에서 종래의 무선 채널 상태 정보의 피드백 전송할 경우 나타날 수 있는 물리적 한계와 예상되는 문제점을 살펴본 후, 이를 해결하기 위해 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 아이디어와 기술적 수단을 순차적으로 소개하도록 한다.
- [0027] 도 1은 본 발명의 실시예들이 구현되는 이동 통신 시스템에서 무선 채널 상태 정보의 피드백을 위해 단말(10)과 기지국(20)이 주고받는 신호와 동작을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0028] 앞서 간략히 소개한 바와 같이, MIMO 이동 통신 시스템의 단말(10)은 기지국(20)으로부터 수신되는 신호들의 무선 채널 상태 정보를 기지국에 주기적으로 피드백한다. 그러면, 기지국(20)은 단말(10)이 피드백하는 무선 채널 상태 정보를 기반으로 순방향 스케줄링 내지 MIMO 서비스를 제공하게 된다. 이때, 기지국(20)은 MIMO 안테나를 통해 신호의 세기(magnitude)와 위상(phase)에 관한 정보를 파악하여 간섭을 피하고자 한다. 그런데, MIMO 안테나로 인해 데이터의 수와 양이 폭발적으로 증가하게 되므로 필연적으로 전송 오버헤드 발생의 우려가 존재한다. 이를 방지하기 위해 무선 채널 상태 정보의 피드백에서 데이터의 압축이 요구되게 되었다.
- [0029] 한편, 피드백 데이터를 압축하기 위해 다양한 머신 러닝 기법이 활용될 수 있다. 예를 들어, CNN(Convolutional Neural Network)을 적용하여 무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축할 수 있다. 다른 예로서, 오토 인코더(Auto-Encoder)를 적용하여 무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 것도 가능하다. 본 발명의 실시예들은 무선 채널 상태 정보의 피드백에 머신 러닝을 도입하였다는 아이디어 자체에 집중하는 것은 아니므로, 이하에서는 다양한 머신 러닝 모델 중 CNN을 일례로서 데이터 처리 과정을 설명하도록 한다. 그러나, 본 발명의 효과적인 데이터 압축 방법에 관한 기술적 사상이 유지되는 한 다양한 머신 러닝 모델이 응용될 수 있으며, 단지 CNN 기법에 한정되는 것이 아니다.
- [0030] 도 2는 본 발명의 실시예들이 제안하는 MIMO 이동 통신 시스템에서 머신 러닝에 기반하여 무선 채널 상태 정보를 피드백함에 있어서 데이터의 전처리를 통해 정규화를 도모하는 기술적 원리를 설명하기 위한 도면이다.
- [0031] MIMO 이동 통신 시스템에서 단말(10)이 무선 채널 상태 정보(CSI)(210)를 확보하였다고 가정하다. 통상적인 머신 러닝을 적용할 경우 이러한 무선 채널 상태 정보(210)를 훈련된 인코더(encoder)를 통해 인코딩한 후 기지국(20)에 전달하여 디코딩하도록 유도하게 된다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 그에 앞서 데이터 전처리(220) 과정을 통해 무선 채널 상태 정보(210)를 가공하고자 하였다. 이러한 전처리(220) 과정은 데이터의 크기를 감소시키면서도 피드백 정확도를 향상시킬 수 있도록 설계되었다. 단말(10)이 데이터 전처리(220) 과정을 통해 가공된 무선 채널 상태 정보를 인코딩(230)하여 기지국(20)에 피드백하면, 기지국(20)은 수신된 피드백 데이터를 디코딩(250)하여 그로부터 무선 채널 상태 정보(260)를 획득할 수 있다. 물론 인코딩(230) 과정을 위한 인코더와 디코딩(250) 과정을 위한 디코더는 채택된 머신 러닝 모델(270)에 따라 훈련된 것임을 당연하다.
- [0032] 도 3은 본 발명의 실시예들이 제안하는 도 2의 데이터 전처리의 세부 단계를 포함하여 무선 채널 상태 정보의 피드백 과정을 도시한 블록도로서, 동일한 참조번호는 동일한 구성을 나타낸다.
- [0033] 도 3을 참조하면, 데이터 전처리(220) 과정에서 최초에 무선 채널 상태 정보(210)가 주어지고, 이를 클리핑(clipping)하고 스케일링(scaling)하여 정규화된 무선 채널 상태 정보(normalized CSI)를 생성하는 것을 볼 수 있다. 여기서, 클리핑이란 최초의 무선 채널 상태 정보에서 불필요하다고 판단된 데이터 일부를 삭제하거나 소거하여 데이터의 크기를 감소시키는 것을 의미하고, 스케일링이란 특정 구간에 데이터가 집중적으로 몰려 있는 경우 위치 이동(shift)을 통해 이들 데이터를 재분배하는 것을 의미한다. 각 단계의 구체적인 동작 및 처리 과정은 이후 도 6 및 도 7을 통해 자세히 기술하도록 한다. 한편, 정규화된 무선 채널 상태 정보의 플롯 강도(plot strength)를 도 3에 [A] 및 [B]와 같이 예시하였다.
- [0034] 이상과 같은 데이터 전처리(220)가 수행되면, 단말 측의 인코더(230)를 통해 무선 채널 상태 정보를 인코딩하여

피드백 전송한다. 이 경우 머신 러닝 알고리즘으로서 CNN이 채택되었다면 CsiNet이 활용될 수 있으며, 훈련된 인코더(230)를 통해 코드 워드(code word)(240)가 생성될 수 있다. 이제, 무선 채널 상태 정보의 피드백 데이터로부터 기지국 측의 디코더(250)를 통해 디코딩을 수행하여 무선 채널 상태 정보를 재구성할 수 있다.

- [0035] 도 2 및 도 3을 통해 개괄적으로 제시한 바와 같이, 본 발명의 실시예들은 데이터 전처리 과정을 통해 머신 러닝에 기반한 무선 채널 상태 정보를 피드백함으로써, 데이터의 압축을 통한 오버헤드를 감소시킬 수 있으며, 동시에 데이터 정규화에 따른 머신 러닝의 성능 및 피드백 정확도를 향상시키고자 하였다.
- [0036] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명하도록 한다. 다만, 하기의 설명 및 첨부된 도면에서 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기능 또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 덧붙여, 명세서 전체에서, 어떤 구성 요소를 '포함'한다는 것은, 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0037] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "구비하다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 특별히 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0039] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 단말이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법을 도시한 흐름도로서, 단말 내에 구비된 또는 단말에 연결된 데이터 처리 수단을 통해 구현될 수 있다.
- [0040] S410 단계에서, 단말은 무선 채널 상태 정보를 획득한다. MIMO 이동 통신 시스템의 단말은 다중 안테나를 활용하여 기지국으로부터 수신되는 신호들로부터 무선 채널 상태 정보를 얻을 수 있다.
- [0041] S420 단계에서, 상기 단말은 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)한다. 앞서 설명한 바와 같이, MIMO 이동 통신 시스템에서의 폭발적인 데이터 양을 압축하기 위해 우선 무선 채널 상태 정보의 데이터 특성을 살펴보고, 이로부터 불필요하다고 판단된 데이터 영역을 삭제하게 된다. 따라서, 불필요하다는 판단을 위한 기준이 필요하며, 본 발명의 실시예들은 데이터 크기의 최대값을 제한하는 클리핑 임계값을 제안한다. 클리핑 임계값은 전체 무선 채널 상태 정보 데이터 세트의 일정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 결정될 수 있으며, 구체적인 처리 방법은 이후 도 6을 통해 설명하도록 한다.
- [0042] S430 단계에서, 상기 단말은 S420 단계를 통해 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)한다. 앞서 클리핑된 데이터를 살펴보면, 데이터가 특정 점 영역에 집중적으로 몰려 있다는 현상이 발견되었다. 따라서, 이렇게 몰려 있는 데이터를 재분배하여 정규화된 데이터를 생성하도록 구성하였다. 특히, 정규화된 데이터는 머신 러닝의 채택된 모델에 입력되어야 하므로 해당 모델의 데이터 범위를 함께 고려하여 스케일링을 수행하는 것이 바람직하다. 보다 구체적인 처리 방법은 이후 도 7을 통해 설명하도록 한다.
- [0043] S440 단계에서, 상기 단말은 S430 단계를 통해 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력한다. 예를 들어, CNN을 채택하였다면, 이 과정에서는 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩할 수 있다. 물론, 이러한 머신 러닝 모델은, 무선 채널 상태 정보의 특징 추출을 통해 데이터를 압축하는 CNN(Convolutional Neural Network)이 활용될 수도 있고, 또는 무선 채널 상태 정보 데이터의 압축 후 복원시 원본 데이터와의 차이가 최소화되도록 제어하는 오토 인코더(Auto-Encoder)가 활용될 수도 있다.
- [0044] S450 단계에서, 상기 단말은 상기 머신 러닝 모델에 입력되어 상기 무선 채널 상태 정보로부터 인코딩된 데이터를 기지국에 피드백함으로써, 기지국으로 하여금 디코딩 과정을 통해 무선 채널 상태 정보를 재구성하도록 유도한다. 물론, 이때의 디코더는 채택된 머신 러닝 모델에 따른 인코더에 대응되도록 훈련되는 것이 당연하다.

[0045] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 무선 채널 상태 정보를 획득하는 과정(S410 단계)을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

[0046] S411 단계에서는 기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정할 수 있다. 예를 들어, N 개의 부반송파가 있는 대규모 MIMO 직교 주파수 분할 다중화(MIMO-OFDM) 시스템을 고려한다. 기지국에는 M 개의 안테나가 장착되어 있고 사용자 단말(UE)에는 단일 안테나가 장착되어 있다. 사용자 단말에서 i 번째 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$[0047] \quad y_i = \mathbf{h}_i^H \mathbf{x}_i + n_i$$

[0048] 여기서 $\mathbf{x}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 송신 신호, $\mathbf{h}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 주파수 도메인 채널 벡터, $n_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 가산 백색 가우스 잡음(Additive White Gaussian Noise, AWGN)이다.

[0049] S412 단계에서는 S411 단계를 통해 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정할 수 있다. 수학적 식 1에 따라 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬은 $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \dots \mathbf{h}_N]^H \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 로 나타낼 수 있다.

[0050] S413 단계에서는 S412 단계를 통해 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성할 수 있다. 여기서, 상기 희소화된 채널 행렬은, 지연 도메인(delay domain)에서 제한된 다중 경로 시간 지연으로 인해 초기 일부 행의 데이터만을 유지하도록 잘린 행렬일 수 있다. 즉, 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬 $\mathbf{H}$ 는 다음의 수학적 식 2와 같이 2D 이산 푸리에 변환을 사용하여 각 지연 도메인에서 희소화 될 수 있다.

수학적 식 2

$$[0051] \quad \tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{W}_d \mathbf{H} \mathbf{W}_a^H$$

[0052] 여기서 $\mathbf{W}_d$ 와 $\mathbf{W}_a$ 는 각각 $N \times N$ 및 $M \times M$ DFT 행렬이다. 피드백 오버 헤드를 줄이기 위해 지연 도메인(delay domain)에서 제한된 다중 경로 시간 지연으로 인해 $\tilde{\mathbf{H}}$ 의 첫 번째 N_r 행만 유지한다. 따라서, 피드백 매개 변수의 개수는 $2NM$ 에서 $2N_r M$ 으로 감소하고 잘린 행렬은 $\tilde{\mathbf{H}}$ 가 된다.

[0053] $\tilde{\mathbf{H}}$ 를 생성한 후 머신 러닝을 훈련하기 전에 본 발명의 실시예들에 따른 데이터 정규화 과정을 수행한다. 본 발명의 실시예들이 제안하는 데이터 정규화는 크게 두 단계로 진행된다. 먼저, 클리핑 $N_c(\cdot)$ 이 적용된 다음 스케일링 $N_s(\cdot)$ 이 순차적으로 적용된다. 그러면 정규화된 채널 행렬 $\bar{\mathbf{H}}$ 은 다음의 수학적 식 3과 같이 계산된다.

수학적 식 3

$$[0054] \quad \bar{\mathbf{H}} = N_s(N_c(\tilde{\mathbf{H}}))$$

[0055] 본 발명의 실시예들에서는 CNN 기반의 머신 러닝을 사용한다고 가정하였다. 그러면, 단말은 CNN을 이용하여 무선 채널 상태 정보의 데이터에 대해 인코딩을 수행한 후, 인코딩된 데이터를 기지국에 피드백하며, 기지국은 수신한 데이터를 CNN을 이용하여 디코딩을 수행한다. CNN의 인코더는 무선 채널 상태 정보의 데이터에서 압축된

표현 L (코드 워드)을 만들도록 훈련되고, 훈련된 인코더 $T_{\text{enc}}(\cdot)$ 는 다음의 수학적 식 4와 같이 표현된다.

수학적 식 4

$$L = T_{\text{enc}}(\bar{\mathbf{H}})$$

이제, CNN의 디코더 $T_{\text{dec}}(\cdot)$ 는 다음의 수학적 식 5와 같이 원래의 무선 채널 상태 정보를 재구성하도록 훈련된다.

수학적 식 5

$$\hat{\mathbf{H}} = T_{\text{dec}}(L)$$

이제, 도 6 및 도 7을 참조하여 클리핑과 스케일링에 관한 구체적인 처리 과정을 설명한다. 또한, 본 발명의 실시예들에 따른 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법을 의사코드(pseudocode)로 구현한 데이터 정규화 알고리즘인 도 10을 함께 참조하도록 한다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 클리핑하는 과정(S420 단계)을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

S421 단계에서는 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정한다. 이 과정에서는, 무선 채널 상태 정보의 높은 전력 요소의 부정적인 영향을 줄이기 위해 특정 임계값을 기준으로 최대값을 제한한다. 이를 위해, 머신러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 일정 비율(ξ %, 예를 들어 3 %로 설정될 수 있다.)을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값(A)을 설정할 수 있다.

S422 단계에서는 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교한다.

S423 단계의 비교 결과, 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 S424 단계로 진행하여 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력할 수 있다. 만약 그렇지 않다면, 해당 샘플을 그대로 출력한다.

이러한 클리핑 임계값(A)을 기반으로 다음의 수학적 식 6과 같이 무선 채널 상태 정보를 클리핑 할 수 있다.

수학적 식 6

$$\tilde{h}_{s,l,m} = \begin{cases} \tilde{h}_{s,l,m}, & |\tilde{h}_{s,l,m}| \leq A \\ Ae^{j\theta}, & |\tilde{h}_{s,l,m}| > A \end{cases}$$

여기서, $\tilde{h}_{s,l,m}$ 는 데이터세트의 s 번째 샘플로, l 번째 지연 및 m 번째 각도를 갖는 채널 요소이다. θ 는 $\tilde{h}_{s,l,m}$ 의 위상이다. 즉, 샘플의 크기가 임계값 A보다 작거나 같은 경우 원래의 샘플 값을 출력하고, 샘플의 크기가 임계값 A보다 큰 경우 크기를 임계값 A로 제한하고 위상 정보를 이용하여 생성된 데이터를 출력할 수 있다. 이상의 과정을 통해 클리핑이 완료되면, 다음으로 스케일링을 수행한다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법에서 스케일링하는 과정(S430 단계)을 보다 구체적으로 도시한 흐름도이다.

S431 단계에서는 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정할 수 있다. 그런 다음, S432 단계에서는 머신러닝 모델

의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성할 수 있다. 즉, 앞서 클리핑된 무선 채널 상태 정보는 불필요한 데이터를 삭제하였기에 협소한 구간 내에 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 밀집하게 되는 약점이 존재하였고, 이를 해소하기 위해 데이터를 재분배하게 된다.

[0069] 보다 구체적으로, 무선 채널 요소의 실수값과 허수값들의 대부분은 0 주위에 분포되어 있다. 그러나 머신 러닝의 출력값은 대부분은 0과 1 사이로 조정된다. 구간의 조정을 위해 일반적인 최소-최대 스케일링 방법이 적용될 수 있으나, 최소-최대 스케일링은 고전력 요소에 민감하며 역-스케일링의 복잡성도 증가한다. 따라서, 본 발명의 실시예들에서는 무선 채널 정보의 데이터를 $[-0.5, 0.5]$ 로 조정한 다음, 간단한 곱셈과 이동(shift)을 사용하여 $[0, 1]$ 로 다시 재조정하는 처리 과정을 제시한다.

[0070] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 기지국이 무선 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)의 데이터를 처리하는 방법을 도시한 흐름도로서, 앞서 단말 측의 관점에서 기술된 도 4와는 달리, 기지국 측의 관점에서 무선 채널 상태 정보를 처리하는 일련의 과정을 기술하였다. 본 발명의 다른 실시예에서 기지국은 단말을 통해 인코딩된 데이터를 디코딩하는 과정을 기술하고 있으나, 데이터 인코딩 과정 자체는 앞서 도 4를 통해 설명된 일련의 처리 과정에 따른다. 따라서, 설명의 중복을 피하고자 데이터의 인코딩 과정에 관하여는 그 개요만을 약술하도록 한다.

[0071] S810 단계에서, 기지국은 단말로부터 머신 러닝 모델에 따라 인코딩된 데이터를 수신한다. 여기서, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력함으로써 생성된다.

[0072] 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 기지국으로부터 부반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써 획득될 수 있다.

[0073] 또한, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑될 수 있다. 여기서, 상기 임계값은, 머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 설정될 수 있다.

[0074] 또한, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링될 수 있다.

[0075] 나아가, 상기 인코딩된 데이터는, 단말에 의해, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보로부터 코드 워드(code word)를 생성하도록 훈련된 인코더(encoder)를 이용하여 상기 무선 채널 상태 정보를 인코딩함으로써 생성될 수 있다.

[0076] S820 단계에서, 상기 기지국은 상기 단말의 인코더(encoder)에 대응하는 머신 러닝 모델의 디코더(decoder)를 이용하여 상기 인코딩된 데이터를 디코딩함으로써 무선 채널 상태 정보를 재구성한다. 만약 CNN 머신 러닝을 사용하는 무선 채널 상태 피드백 기법을 고려할 경우, CNN 머신 러닝 파라미터가 $\omega = \{\omega_{\text{enc}}, \omega_{\text{dec}}\}$ 라면, 최종적으로 기지국에서 재구성되는 무선 채널 상태 정보는 다음의 수학적 7과 같다.

수학적 7

$$\hat{\mathbf{H}} = T_{\text{dec}}(T_{\text{enc}}(\bar{\mathbf{H}}; \omega_{\text{enc}}); \omega_{\text{dec}})$$

[0078] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 단말(10)에 구비되어 무선 채널 상태 정보(Channel State

Information, CSI)의 데이터를 처리하는 장치를 도시한 블록도로서, 도 4의 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 방법의 각 단계를 하드웨어 구성의 관점에서 재구성한 것이다. 따라서, 여기서는 설명의 중복을 피하고자 각 구성의 기능 및 동작을 약술하도록 한다. 또한, 물리적인 하드웨어 일부는 단말(10)의 구성을 활용하거나 통합하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 장치의 통신 모듈(11)은 단말(10) 고유의 통신 수단일 수 있다.

[0079] 통신 모듈(11)은 다중-입력 다중-출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)을 수행하는 구성이다. 처리 모듈(13)은 상기 통신 모듈(11)을 통해 기지국(20)과 통신하여 무선 신호를 수신하고 무선 채널 상태 정보를 피드백하도록 제어하는 구성이다. 보다 구체적으로, 상기 처리 모듈(13)은, 통신 모듈(11)을 통해 무선 채널 상태 정보를 획득하고, 미리 설정된 임계값을 이용하여 데이터의 크기를 감소시키도록 상기 무선 채널 상태 정보를 클리핑(clipping)하고, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 데이터가 재분배되도록 스케일링(scaling)하며, 스케일링된 상기 무선 채널 상태 정보를 머신 러닝 모델에 입력하여 인코딩된 데이터를 생성하도록 구성된다.

[0080] 보다 구체적으로, 상기 처리 모듈(13)은, 기지국(20)으로부터 반송파를 통해 수신된 다운 링크 신호를 설정하고, 설정된 상기 다운 링크 신호를 참조하여 공간 주파수 영역 벡터의 채널 행렬을 설정하며, 설정된 상기 채널 행렬로부터 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여 희소화된 채널 행렬을 생성함으로써, 상기 무선 채널 상태 정보를 획득할 수 있다.

[0081] 또한, 상기 처리 모듈(13)은, 데이터 크기의 최대값을 나타내는 임계값을 설정하고, 입력된 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트의 샘플의 크기를 설정된 상기 임계값과 비교하며, 비교 결과 상기 샘플의 크기가 상기 임계값보다 클 경우 상기 샘플 대신에 상기 임계값에 따른 제한된 크기와 위상을 갖는 데이터를 출력함으로써 클리핑할 수 있다. 여기서, 상기 처리 모듈(13)은, 머신 러닝 모델에 입력되는 전체 무선 채널 상태 정보의 데이터 세트 중에서 소정 비율을 차지하는 무선 채널 데이터의 크기 값으로 상기 임계값을 설정할 수 있다.

[0082] 나아가, 상기 처리 모듈(13)은, 클리핑된 상기 무선 채널 상태 정보 내의 채널 요소의 실수값 및 허수값들이 집중하여 분포된 점 영역으로부터 소정 구간 영역으로 분포 범위를 조정하고, 머신 러닝 모델의 출력 범위를 고려하여 상기 분포 범위가 조정된 무선 채널 상태 정보의 데이터를 재조정하여 정규화된 무선 채널 상태 정보를 생성함으로써 스케일링할 수 있다.

[0083] 이상에서 본 발명의 실시예들을 통해 MIMO 이동 통신 시스템에서 폭증하는 무선 채널 상태 정보를 적절히 억제하면서도 머신 러닝을 통해 효율적인 피드백을 달성하기 위한 기술적 수단을 소개하였다. 본 발명의 안출 동기에 따라 머신 러닝의 채택된 모델에 입력되는 무선 채널 상태 정보는 데이터 전처리 과정을 통해 정규화됨으로써 전송 오버헤드를 감소시킴과 동시에 피드백 정확도를 향상시키도록 설계되었다. 이하에서는 이렇게 설계된 무선 채널 상태 정보의 데이터 처리 기법이 의도하였던 성능을 달성하였는지 여부를 검증하였다.

[0084] 머신 러닝 기반의 무선 채널 상태 피드백 기법의 성능을 검증하기 위해, 우선, 단말이 측정한 무선 채널 상태 정보 $\bar{\mathbf{H}}$ 와 기지국에서 재구성하는 무선 채널 상태 정보 $\hat{\mathbf{H}}$ 의 차이를 표현하는 정규화된 평균 제곱 오차(Normalized Mean Squared Error, NMSE)를 다음의 수학식 8과 같이 표현하였다.

수학식 8

[0085]
$$NMSE = \mathbf{E}\{\|\bar{\mathbf{H}} - \hat{\mathbf{H}}\|_2^2 / \|\bar{\mathbf{H}}\|_2^2\}$$

[0086] 또한, 다중 안테나 빔-포밍(beam-forming) 벡터의 정확도를 평가하는데 사용할 수 있는 코사인 유사도(cosine similarity)를 다음의 수학식 9와 같이 표현하였다.

수학식 9

$$\rho = \mathbf{E} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|\hat{\mathbf{h}}_n^H \bar{\mathbf{h}}_n|}{\|\hat{\mathbf{h}}_n\|_2 \|\bar{\mathbf{h}}_n\|_2} \right\}$$

[0087]

[0088]

[0089]

수학식 9를 통해 위상 θ 값의 변화를 관찰하기 위해 위상 차이를 비교하였다.

이제, 본 발명의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 3.65GHz의 중심 주파수와 50MHz의 대역폭에서 두 가지 유형의 채널 매트릭스를 생성한다. 대표적인 MIMO 채널 모델에는 QuaDRiGa 채널 모델과 COST 2100 채널 모델이 있다. 첫째, QuaDRiGa 채널 모델에서 UMA (Berlin Urban Macro) NLOS 시나리오를 가정하였다. 여기서, 송신 안테나의 수는 $M = 32$ 이고 사용자 단말(UE)은 원을 따라 이동한다. 둘째, COST 2100 채널 모델에서 semiurban NLOS 시나리오를 가정한다. 여기서 송신 안테나의 수는 $M = 32$ 이고 사용자 단말은 여러 방향으로 이동한다. 다중 경로 도착으로 인한 시간을 제한하여 각 지연 도메인에서 채널 행렬의 처음 32개 행을 유지한다.

따라서 $\bar{\mathbf{H}}$ 의 크기는 $2 \times 32 \times 32$ 이다. 본 발명의 클리핑 임계값의 비율 ξ 은 3.0%로 설정하였다. 학습, 검증 및 테스트를 위한 채널 벡터 데이터 세트의 크기는 각각 60,000, 20,000 및 20,000로 생성하였다. CNN에서 사용한 학습률 (learning rate)은 0.001, epoch은 1000, 배치 크기는 100이다. 그리고 Adam optimizer가 적용되었다. 프로그램은 파이썬 언어로 구현하였다.

[0090]

도 11은 시뮬레이션 결과로서 코드 워드 길이에 따른 NMSE(normalized mean square error) 성능을 예시한 그래프로서, 코드 워드의 크기가 64에서 512로 증가함에 따른 NMSE를 보여준다. 본 발명의 실시예들에 따른 클리핑을 사용한 데이터 정규화는 모든 코드 워드 크기에 대해 클리핑이 없는 다른 방법들보다 NMSE가 낮다. 즉, 기지국에서 재구성하는 무선 채널 상태 정보 $\hat{\mathbf{H}}$ 와 단말이 측정한 무선 채널 상태 정보 $\bar{\mathbf{H}}$ 와의 차이가 작다. 특히, 데이터 정규화 과정에서 클리핑 및 스케일링을 사용하는 본 발명의 실시예들은 코드 워드가 클 때 NMSE를 크게 감소시킴으로써 뛰어난 성능을 보여주었다.

[0091]

도 12는 시뮬레이션 결과로서 코드 워드 길이에 따른 코사인 유사성을 예시한 그래프로서, 코드 워드의 크기가 64에서 512로 증가함에 따라 코사인 유사도 ρ 의 정확도를 보여준다. 본 발명의 실시예들에 따른 클리핑 및 스케일링을 사용한 데이터 정규화는 코사인 유사도 ρ 의 성능을 향상시키고 있음을 보여준다. 도 12를 참조하면, 특히 QuaDRiGa 채널 모델에서 본 발명의 실시예들에 따른 클리핑 및 스케일링을 사용한 데이터 정규화 방법이 코사인 유사도를 크게 향상시키는 것을 확인할 수 있다. COST 2100 채널 모델에서는 클러스터 모델링 방법의 특수성으로 데이터 정규화 방법에 관계없이 매우 좋은 코사인 유사도를 보이고 있다.

[0092]

도 13은 시뮬레이션 결과로서 학습 시간 경과에 따른 머신 러닝의 성능을 예시한 그래프로서, 코드 워드의 크기가 512일 때 머신 러닝의 훈련 epoch 수가 증가함에 따라 QuaDRiGa 채널에서 성능을 보여준다. 본 발명의 실시예들에 따른 클리핑 및 스케일링을 사용한 데이터 정규화는 훈련 epoch이 진행됨에 따라 성능의 요동 없이 빠른 수렴을 보여주었다. 반면, 클리핑 및 스케일링을 사용하지 않는 종래의 방법에서는 훈련 epoch이 진행됨에 따라 성능이 요동치고 성능 수렴이 느림을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예들에 따른 클리핑 및 스케일링을 사용한 데이터 정규화 기법은 머신 러닝의 훈련 시간을 감소시킴으로써 결과적으로 신경망 복잡도를 줄여 정확도를 향상시킬 수 있게 된다.

[0093]

상기된 본 발명의 실시예들에 따르면, MIMO 이동 통신 시스템에서 데이터의 양이 폭증하는 상황 하에서도 데이터 전처리 과정을 통해 클리핑 및 스케일링을 수행하여 머신 러닝에 입력함으로써, 데이터의 압축 효과로 인해 무선 채널 상태 정보의 전송 오버헤드를 감소시키고, 데이터 정규화에 따른 머신 러닝의 성능 및 피드백 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0094]

한편, 본 발명의 실시예들은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0095]

컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산

방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인 (functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

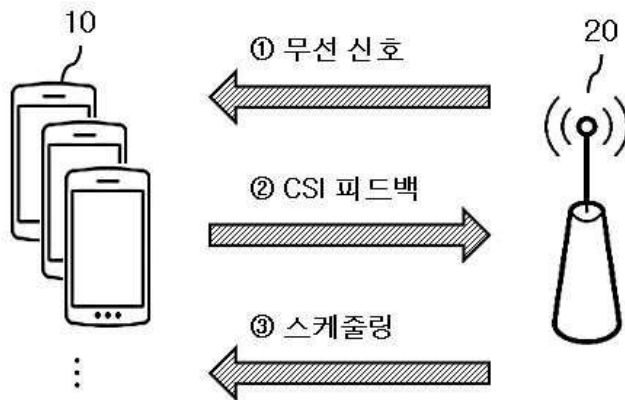
[0096] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

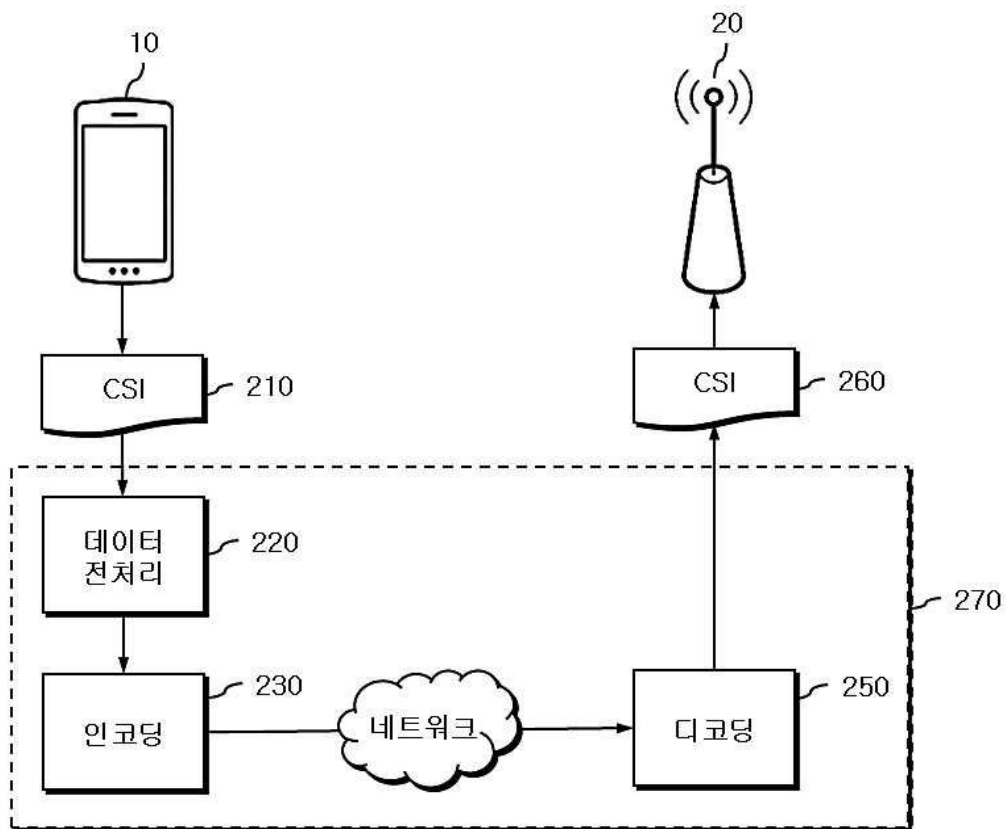
[0097] 10: 단말
11: 통신 모듈
13: 처리 모듈
20: 기지국

도면

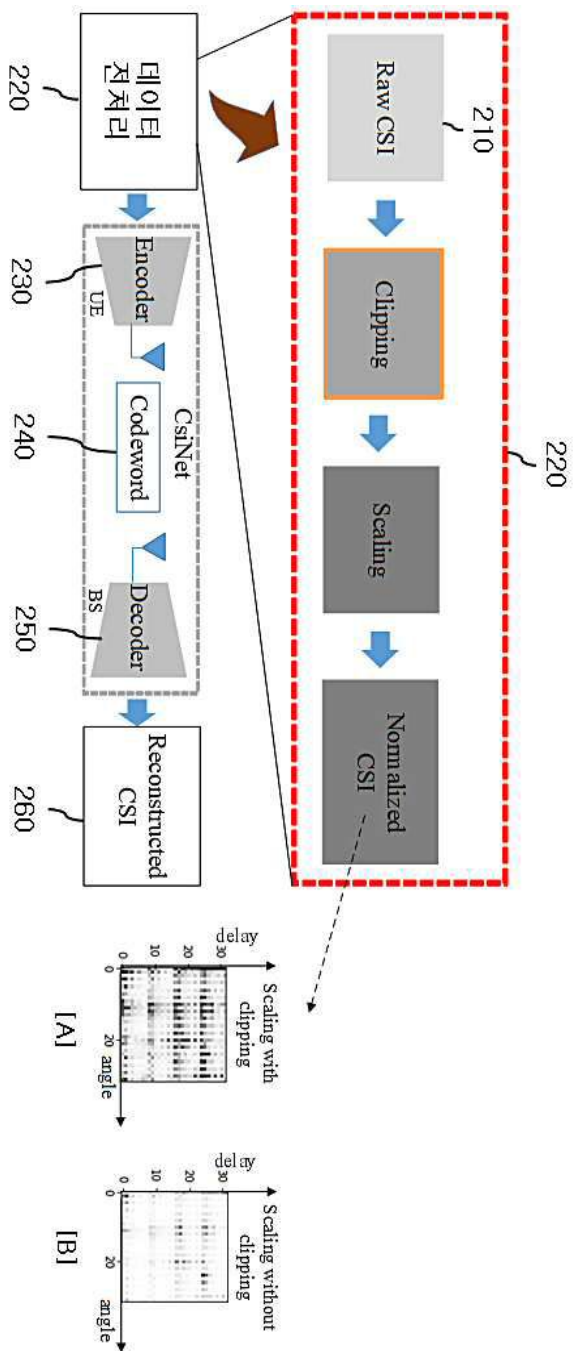
도면1



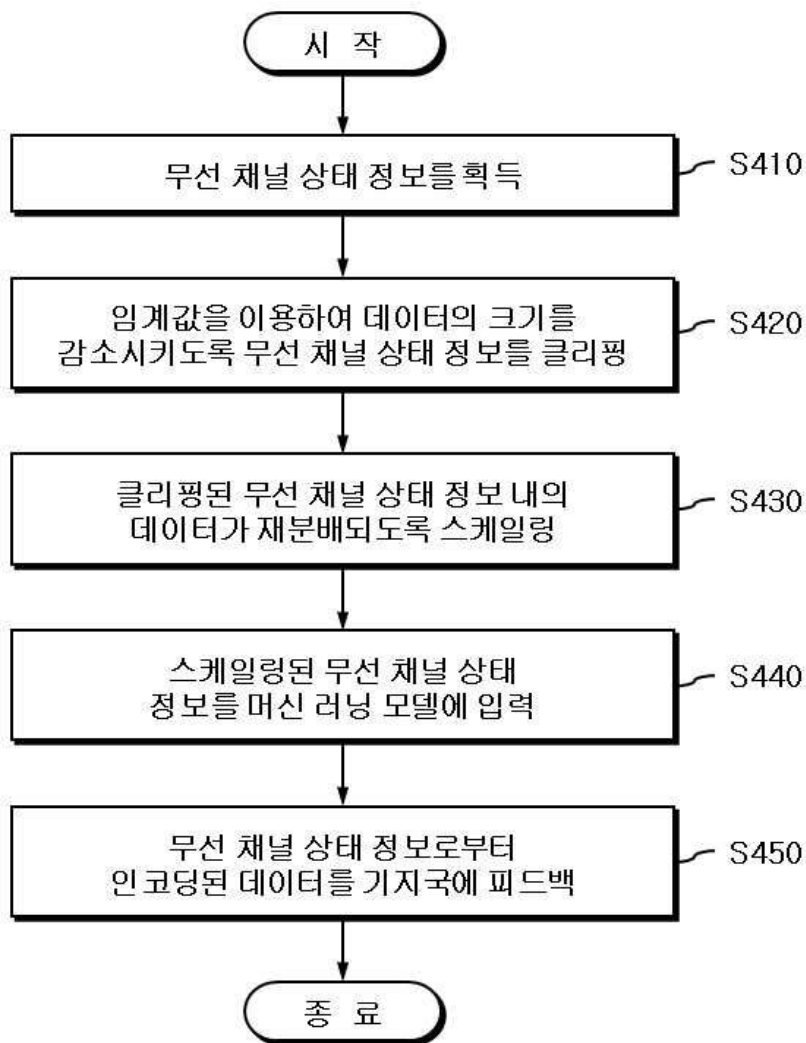
도면2



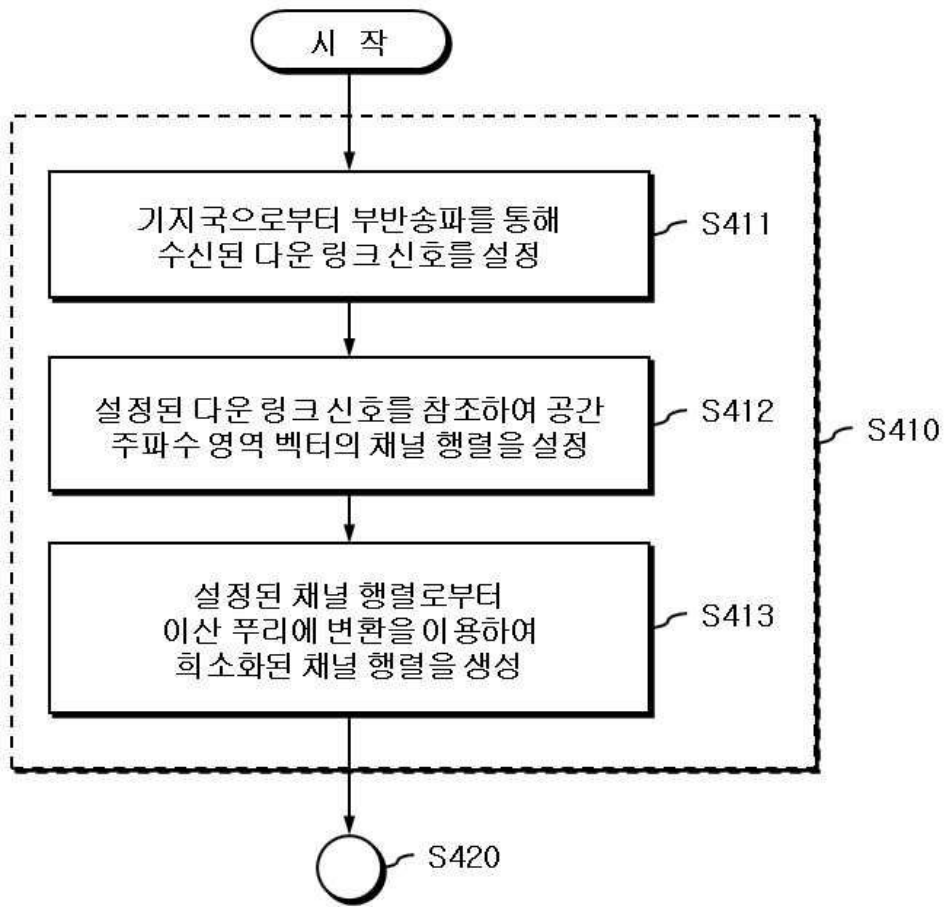
도면3



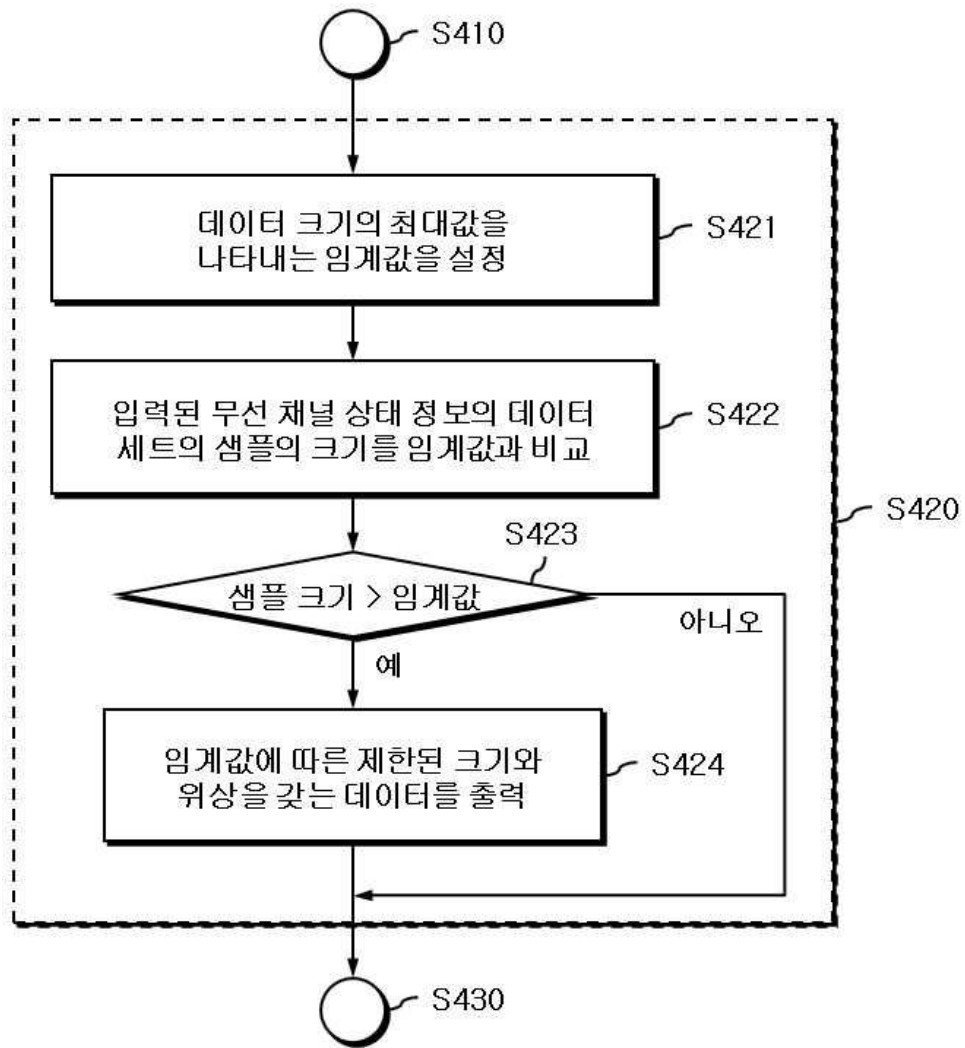
도면4



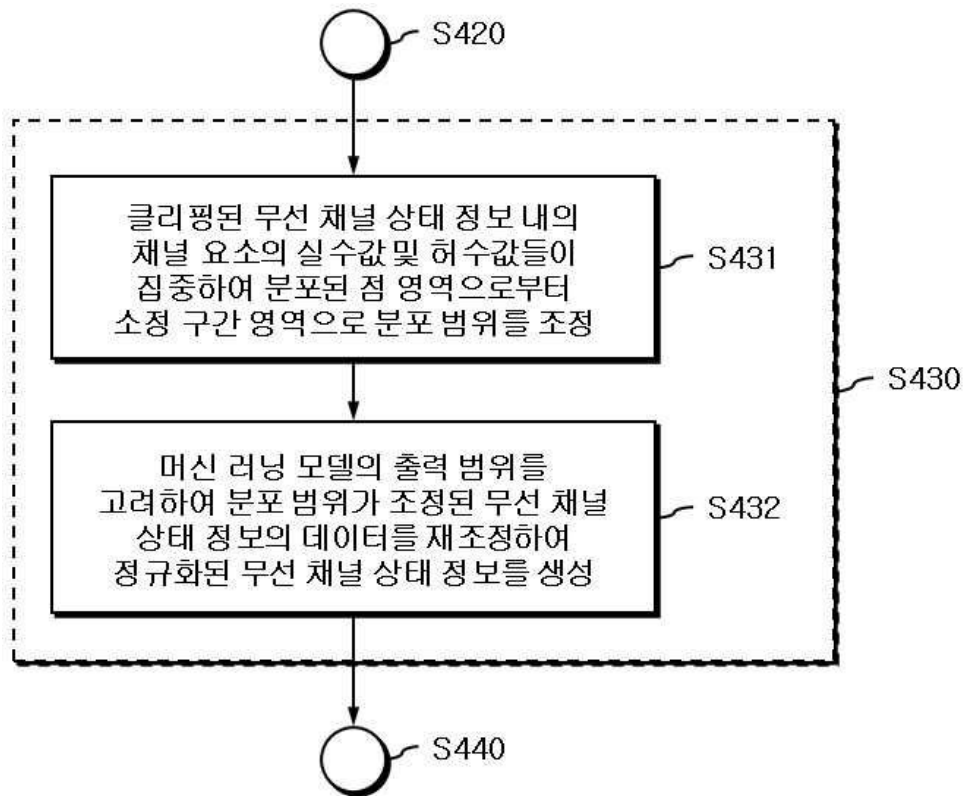
도면5



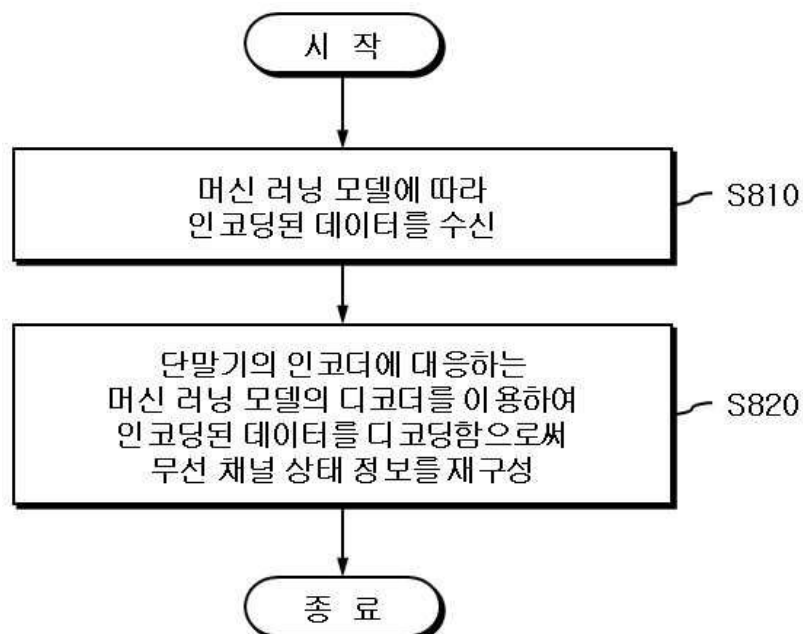
도면6



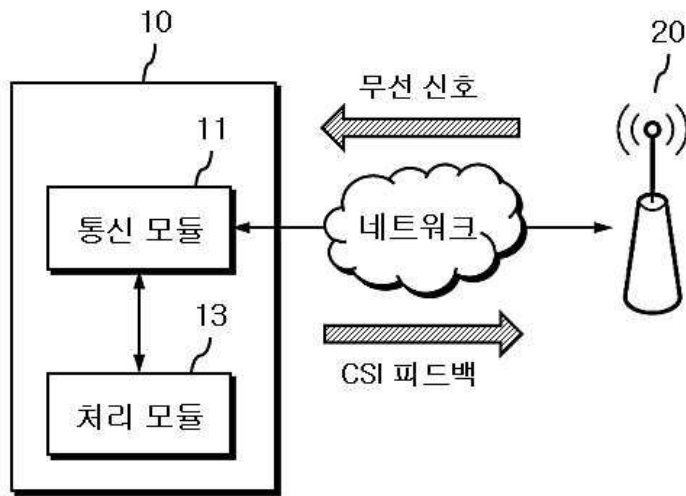
도면7



도면8



도면9



도면10

Algorithm 1 Scaling with clipping threshold

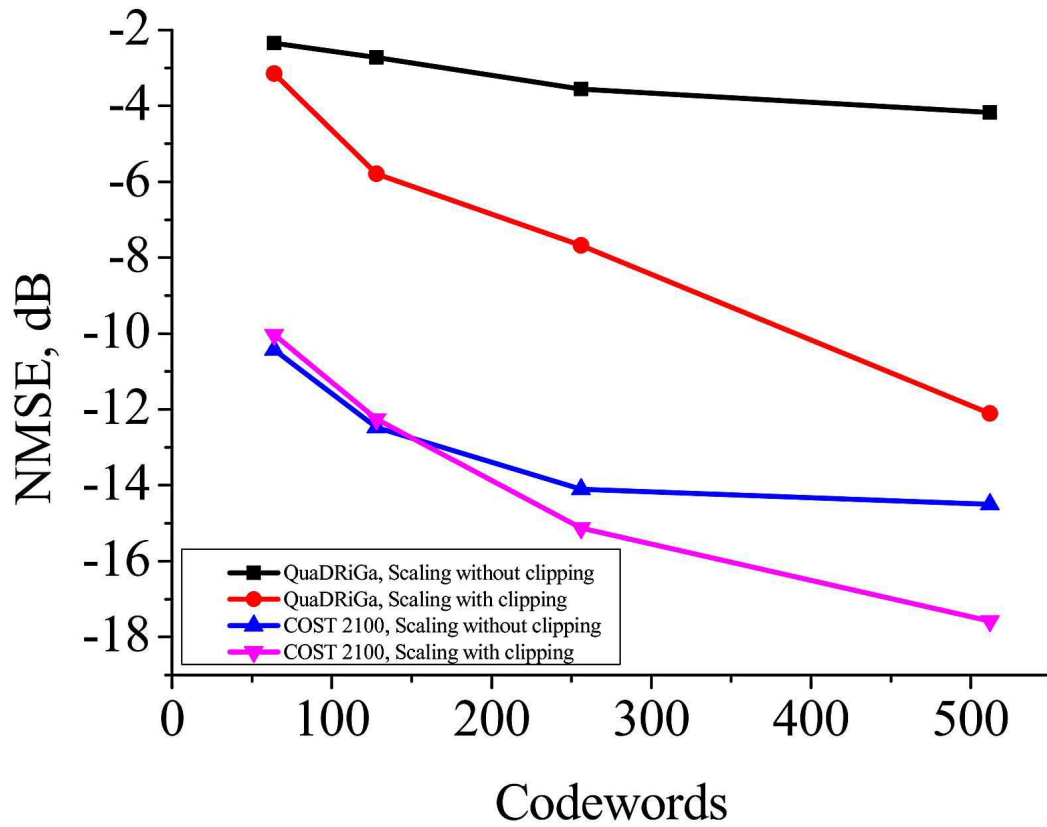
```

1: Input:
   Angular-delay domain channel matrix  $\tilde{\mathbf{H}} = [\tilde{h}_{1,1,1} \dots \tilde{h}_{s,l,m}]$ .
   Determine the value of  $\xi$  specifying the clipping threshold.
2: Output:
   Normalized channel matrix  $\bar{\mathbf{H}} = [\bar{h}_{1,1,1} \dots \bar{h}_{s,l,m}]$ .

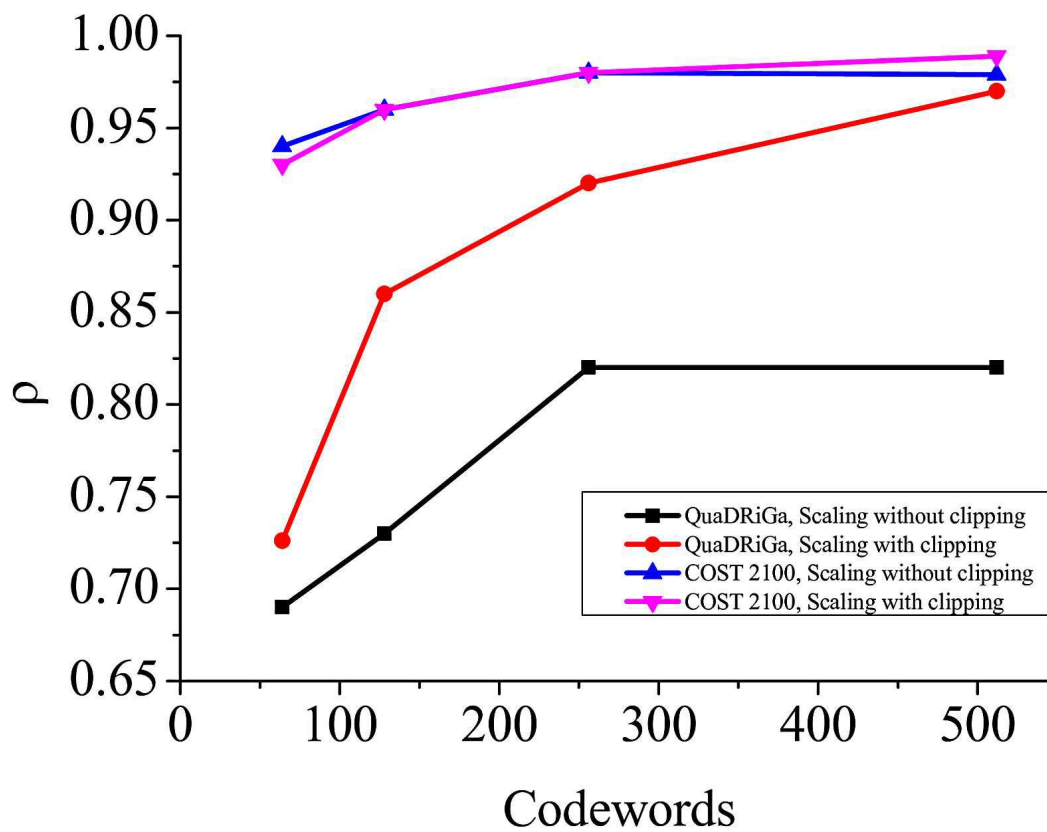
3: /* Transform the channel matrix from a complex number to a polar form */
4:  $re_{s,l,m}^{j\theta}$  = A polar form of the channel element.
5: for all channel elements  $\tilde{h}_{s,l,m} \in \tilde{\mathbf{H}}$  do
6:   Compute the magnitude  $r$  and the phase angle  $\theta$  for  $\tilde{h}_{s,l,m}$ .
7:   Update  $\tilde{h}_{s,l,m} \leftarrow re_{s,l,m}^{j\theta}$ .
8: end for
9:  $A$  = Clipping threshold, the  $k$ th largest magnitude in  $\tilde{\mathbf{H}}$ .
10:  $f$  = Multiplication factor for scaling for  $f \in \mathcal{C}$ .
11: Update  $f \leftarrow 0.5/A$ .
12: /* Clipping and scaling */
13: for all channel elements  $\tilde{h}_{s,l,m} \in \tilde{\mathbf{H}}$  do
14:   if  $|\tilde{h}_{s,l,m}| > A$  then
15:     Update  $Ae_{s,l,m}^{j\theta} \leftarrow re_{s,l,m}^{j\theta}$ .
16:     Update  $\tilde{h}_{s,l,m} \leftarrow fAe_{s,l,m}^{j\theta}$ .
17:   else if  $|\tilde{h}_{s,l,m}| \leq A$  then
18:     Update  $\tilde{h}_{s,l,m} \leftarrow fre_{s,l,m}^{j\theta}$ .
19:   end if
20: end for
21: /* Transform the channel matrix to a complex number */
22: for all channel elements  $\tilde{h}_{s,l,m} \in \tilde{\mathbf{H}}$  do
23:   Compute the real part  $x$  and the imaginary part  $y$  for  $\tilde{h}_{s,l,m}$ .
24:   Update  $\bar{h}_{s,l,m} \leftarrow x + yj$ .
25: end for
26: /* Shift the range from  $[-0.5, 0.5]$  to  $[0, 1]$  */
27: Update  $\bar{\mathbf{H}} \leftarrow \bar{\mathbf{H}} + 0.5$ .
28: return  $\bar{\mathbf{H}}$ 

```

도면11



도면12



도면13

