



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0135511
(43) 공개일자 2022년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 24/02 (2009.01) G06N 3/02 (2019.01)
H04W 52/24 (2009.01) H04W 52/38 (2009.01)
H04W 92/18 (2009.01)

(52) CPC특허분류

H04W 24/02 (2013.01)
G06N 3/02 (2019.01)

(21) 출원번호 10-2021-0041277

(22) 출원일자 2021년03월30일

심사청구일자 2021년03월30일

(71) 출원인

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

이웅섭

경상남도 진주시 사들로 61, 108동 1903호 (충무
공동, 대방노블랜드)

(74) 대리인

김중선

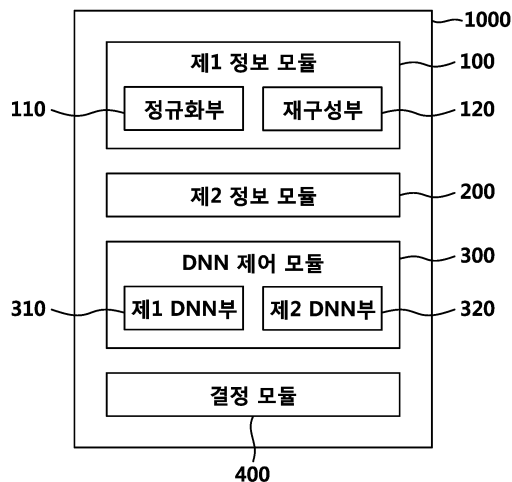
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치

(57) 요약

본 발명은 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치에 관한 것이다. 본 발명은 제1 채널 상태 정보(CSI; channel state information)를 입력하는 제1 정보모듈, 제2 채널 상태 정보(CSI)를 입력하는 제2 정보모듈, 상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments) 트랜스미터 쌍들(TPs; transceiver pairs)의 전송 전력을 제어하도록 하는 DNN 제어모듈, 상기 DNN 제어모듈의 전송 전력 및 제2 채널 상태 정보(CSI)를 이용하여 손실함수를 결정하고, 상기 손실함수에 따라 DNN 모듈의 파라미터를 업데이트하는 결정모듈을 포함하여 구성된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04W 52/24 (2013.01)

H04W 52/383 (2013.01)

H04W 92/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345313462
과제번호	2018R1D1A1B07040796
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(교육부)(R&D)
연구과제명	딥러닝기반 무선통신기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경상대학교산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 채널 상태 정보(CSI; channel state information)를 입력하는 제1 정보모듈;

제2 채널 상태 정보(CSI)를 입력하는 제2 정보모듈;

상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments) 트랜스시버 쌍들(TPs; transceiver pairs)의 전송 전력을 제어하도록 하는 DNN 제어모듈;

상기 DNN 제어모듈의 전송 전력 및 제2 채널 상태 정보(CSI)를 이용하여 손실함수를 결정하고, 손실함수에 따라 상기 DNN 모듈의 파라미터를 업데이트하는 결정모듈을 포함하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 채널 상태 정보는,

부정확한 환경에서 추정된 채널 상태 정보인 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 채널 상태 정보는,

임의로 왜곡된 채널 상태 정보인 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 DNN 제어모듈은,

상기 업데이트된 DNN 모듈의 파라미터를 이용하여 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 최적 전송 전력을 획득하는 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 제1 정보모듈은,

상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 정규화하는 정규화부;

상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 3차원에서 1차원으로 재구성하는 재구성부;를 더 포함하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 DNN 제어모듈은,

상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 근사화하는 제1 DNN부;

각각의 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍(TP)의 전송 전력의 비율을 근사화하는 제2 DNN부;를 포함하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 DNN부는,

출력 레이어가 시그 모이드 레이어(sigmoid layer)인 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제2 DNN부는,

출력 레이어가 소프트맥스 레이어(softmax layer)인 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 결정모듈은,

상기 손실함수의 값이 최소가 되도록 학습하는 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 결정모듈은,

상기 제1 DNN부의 전송 전력, 상기 제2 DNN부의 전송 전력의 비율 및 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 최대 전송 전력을 연산하여 전송 전력의 집합을 결정하는 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 결정모듈은,

상기 전송 전력의 집합과 상기 제2 채널 상태 정보(CSI)를 이용하여 손실함수를 결정하는 것을 특징으로 하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선통신 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 언더레이 D2D(underlay D2D) 통신에서 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 무선 리소스가 여러 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments)에 의해 공유되는 경우, 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송은 다른 장치간 사용자 장비(DUE) 모두에 큰 간섭을 일으킬 수 있으므로 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송 전력은 신중하게 결정해야 한다.

[0003] 정확한(accurate) 채널 상태 정보(CSI; channel state information)는 전송 전력을 최적으로 조정하기 위해 장치간 사용자 장비(DUE)에서 알아야 한다. 실제로는, 채널의 시변 특성, 채널 상태 정보(CSI)에 대한 피드백의 양자화 오류, 채널 상태 정보(CSI) 추정 오류로 인해 채널 상태 정보(CSI)를 완벽하게 획득하기 어렵다.

[0004] 따라서 송신 전력 제어 알고리즘의 실제 설계를 위해 채널 상태 정보(CSI)를 고려하는 것이 중요하다. 최근 무선 통신 시스템(WCS: wireless communication system)에서 확률적 기하학을 사용하여 부정확한 채널 상태 정보(CSI)의 영향을 고려한 기술, 채널 불확실성을 통해 에너지 효율성(EE)을 최대화하기 위한 기술, 셀룰러 사용자 장비(CUE)의 QoS를 보장하면서 장치간 사용자 장비(DUE)의 합계 속도를 최대화하는 기술, 심층 신경망(DNN; Deep Neural Network) 구조를 이용하여 이론적인 수식 없이 DNN 구조가 무선채널을 기반으로 직접 단말의 동작을 조절하는 기술 등 채널 상태 정보(CSI)를 사용하는 D2D 통신 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중, 심층 신경망(DNN; Deep Neural Network) 기반의 전송 전력 제어 기술은 계산 시간이 짧아 실행될 수 있는 DNN 모델로 최적 전략을 근사화 할 수 있기 때문에 큰 관심을 끌고 있다.

[0005] 다만, 종래의 심층 신경망(DNN; Deep Neural Network) 기반의 전송 전력 제어 기술은 DNN 기반으로 가중 최소 평균 제곱 오차(WMMSE; Weighted Minimum Mean Square Error)를 사용하여 최적의 전송 전력 제어에 근접할 수 있고, 각 사용자가 분산 전송 여부를 결정하는 DNN 기반 on/off 전송 전력 제어 할 수 있다. 다만, 이와 같이 종래의 DNN 기반 전송 전력 제어 기술은 채널 상태 정보(CSI)가 정확한 환경을 고려한 것으로 부정확한 환경의 경우를 고려하지 않았다. 즉, 종래의 기술은 실제 무선시스템에서는 다양한 요소에 따라 채널 정보가 부정확해질 수 있으므로 실사용에 적합하지 않다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 딥러닝을 이용하여 채널정보가 부정확한 환경에서도 최적의 전송 전력을 결정하는 전송 전력 제어 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 본 발명은 입력 채널 값을 이용하여 전송파위를 조절하는 동시에 손실함수에서는 임의로 랜덤한 노이즈를 추가한 채널을 통해 손실 값을 계산하여 채널에러에 신뢰성 있는 전송 전력 제어 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 제1 채널 상태 정보(CSI; channel state information)를 입력하는 제1 정보모듈, 제2 채널 상태 정보(CSI)를 입력하는 제2 정보모듈, 상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments) 트랜스시버 쌍들(TPs; transceiver pairs)의 전송 전력을 제어

하도록 하는 DNN 제어모듈, 상기 DNN 제어모듈의 전송 전력 및 제2 채널 상태 정보(CSI)를 이용하여 손실함수를 결정하고, 손실함수에 따라 상기 DNN 모듈의 파라미터를 업데이트하는 결정모듈을 포함하는 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 제공한다.

- [0010] 상기 제1 채널 상태 정보는, 부정확한 환경에서 추정된 채널 상태 정보인 것을 특징으로 한다.
- [0011] 상기 제2 채널 상태 정보는, 임의로 왜곡된 채널 상태 정보인 것을 특징으로 한다.
- [0012] 상기 DNN 제어모듈은, 상기 업데이트된 DNN 모듈의 파라미터를 이용하여 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 최적 전송 전력을 획득하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 상기 제1 정보모듈은, 상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 정규화하는 정규화부, 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 3차원에서 1차원으로 재구성하는 재구성부를 더 포함한다.
- [0014] 상기 DNN 제어모듈은, 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 근사화하는 제1 DNN 부, 각각의 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 전송 전력의 비율을 근사화하는 제2 DNN부를 포함한다.
- [0015] 상기 제1 DNN부는, 출력 레이어가 시그 모이드 레이어(sigmoid layer)인 것을 특징으로 한다.
- [0016] 상기 제2 DNN부는, 출력 레이어가 소프트맥스 레이어(softmax layer)인 것을 특징으로 한다.
- [0017] 상기 결정모듈은, 상기 손실함수의 값이 최소가 되도록 학습하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 상기 결정모듈은, 상기 제1 DNN부의 전송 전력, 상기 제2 DNN부의 전송 전력의 비율 및 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 최대 전송 전력을 연산하여 전송 전력의 집합을 결정하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 상기 결정모듈은, 상기 전송 전력의 집합과 상기 제2 채널 상태 정보(CSI)를 이용하여 손실함수를 결정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0020] 이상과 같은 본 발명의 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치에 따르면, 딥러닝을 이용하여 채널 상태 정보가 부정확한 환경에서도 최적의 전송 전력을 결정하여 제어할 수 있다. 또한, 각 채널에서 D2D 사용자 장비(DUE)의 전송 전력이 최적화되어 평균 스펙트럼 효율성(SE; spectral efficiency)을 최대화 할 수 있다.
- [0021] 본 발명은 채널 상태 정보(CSI)에 오류가 있는 경우 셀룰러 사용자 장비(CUE)의 서비스 품질 (QoS)을 유지하며, 인위적으로 왜곡된 채널 상태 정보(artificially distorted CSI)를 사용하여 부정확한 채널 상태 정보(CSI)의 영향을 보상하여 채널 오류에 대한 신뢰성 있는 전송 전력 제어할 수 있다.
- [0022] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명에 따른 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치를 설명하기 위한 블록도
- 도 2는 도 1의 DNN 제어모듈 및 결정모듈을 설명하기 위한 블록도
- 도 3a 내지 3c는 본 발명에 따라 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 스펙트럼 효율(SE)의 그래프
- 도 4a 내지 4c는 본 발명에 따라 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 QoS 위반 확률의 그래프
- 도 5는 스펙트럼 효율(SE)에 대한 비교 그래프
- 도 6은 QoS 위반 확률에 대한 비교 그래프
- 도 7은 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 수(N)에 따른 스펙트럼 효율(SE)의 그래프

도 8은 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 수(N)에 따른 계산시간의 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0025] 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.
- [0026] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0027] 이와 같은 본 발명은 비록 한정된 실시 예와 도면에 의해 설명되나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.
- [0028] 이하에서는 도면에 도시한 실시 예에 기초하면서 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본원이 이러한 실시 예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성에 대하여 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1은 본 발명에 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치(1000)를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0031] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치(1000)는 제1 채널 상태 정보(CSI; channel state information)를 입력하는 제1 정보모듈(100), 제2 채널 상태 정보(CSI)를 입력하는 제2 정보모듈(200), 전송 전력을 제어하도록 하는 DNN 제어모듈(300), 손실함수를 결정하고 상기 손실함수에 따라 DNN 모듈의 파라미터를 업데이트하는 결정모듈(400)을 포함한다.
- [0032] 제1 정보모듈(100)은 부정확한(imperfect) 환경에서 추정된 채널 상태 정보(estimated CSI; estimated channel state information)인 제1 채널 상태 정보가 입력된다.
- [0033] 제1 정보모듈(100)은 상기 제1 채널 상태 정보(CSI)에 기초하여 상기 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments) 트랜스시버 쌍들(TPs; transceiver pairs)의 전송 전력을 정규화하는 정규화부(110)와 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 3차원에서 1차원으로 재구성하는 재구성부(120)를 더 포함한다.
- [0034] 제2 정보모듈(200)은 임의로 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보가 입력된다. 여기서, 제2 채널 상태 정보는 제1 정보모듈(100)의 제1 채널 상태 정보에 기초하여 계산될 수 있다.
- [0035] DNN 제어모듈(300)은 DNN 방식을 이용하여 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 제어하도록 결정하는 역할이며, 제1 DNN부(310) 및 제2 DNN부(210)를 포함한다. 상기 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)는 연속 출력을 계산하기 위해 입력층에서 출력층 방향으로 연산이 전개되는 피드-포워드 신경망(FFNN, FNN; feed-forward neural network)을 기반으로 할 수 있다.
- [0036] 제1 DNN부(310)는 개별 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력을 근사화하며, 제2 DNN부(320)는 K 채널에서 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 전송 전력의 비율을 근사화한다.
- [0037] 결정모듈(400)은 손실함수를 결정하고, 상기 손실함수에 따라 DNN 모듈의 파라미터를 업데이트하는 역할이며, 손실함수의 값이 최소가 되도록 학습한다.
- [0038] 결정모듈(400)은 상기 제1 DNN부(310)의 전송 전력, 상기 제2 DNN부(320)의 전송 전력의 비율 및 상기 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 최대 전송 전력(P_M)을 연산하여 전송 전력의 집합($\vec{P}_i$)을 결정한다. 그리고, 전송 전력의 집합($\vec{P}_i$)과 상기 제2 정보모듈(200)의 임의로 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily

distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보를 이용하여 손실함수(loss function) 결정하게 된다.

[0039] 도 2는 도 1의 DNN 제어모듈(300) 및 결정모듈(400)을 설명하기 위한 블록도이다.

[0040] DNN 제어모듈(300)은 제1 DNN부(310) 및 제2 DNN부(320)를 포함하며, 상기 제1 DNN부(310) 및 제2 DNN부(320)는 완전 연결 레이어(fully connected layer), 시그 모이드 레이어(sigmoid layer) 또는 소프트맥스 레이어(softmax layer)가 단독으로 또는 이들의 조합으로 구성될 수 있다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 DNN부(310) 및 제2 DNN부(320)는 완전 연결 레이어 및 완전 연결 레이어와 직렬 연결된 ReLU(Rectified Linear Unit) 레이어를 복수 개 포함하고 있으며, 제1 DNN부(310)의 출력레이어는 시그 모이드 레이어(sigmoid layer)(311)이며, 제2 DNN부(114)의 출력레이어는 소프트맥스 레이어(softmax layer)(321)일 수 있다.

[0042] 상기 제1 및 제2 DNN부(310, 320)는 작동 모드의 완전 연결 레이어에 계층 수(N_L)와 숨겨진 노드 수(N_H)가 설정되고, 완전 연결 레이어(FC)에서 출력된 출력값을 ReLU 레이어로 전달한다. 이때, 제1 및 제2 DNN부(310, 320)는 ReLU 레이어로 전달될 출력값이 음수일 경우 차단할 수 있다.

[0043] 상기 ReLU 레이어는 x_R 이 입력될 경우 $[x_R]^+ = \max(x_R, 0)$ 을 출력할 수 있다. 이는 DNN의 비선형성을 보여주기 위함이다.

[0044] 제1 DNN부(310)는 출력 레이어로 시그 모이드 레이어(sigmoid layer)(311)를 사용할 수 있으며, 시그모이드 함수는 입력값(x)에 대해 출력값($\frac{1}{1+e^{-x}}$)으로 나타낼 수 있다. 제1 DNN부(310)의 출력 수는 N개의 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 정규화된 전송 전력이 적절하게 모델링될 수 있도록 N으로 설정된다.

[0045] 제2 DNN부(320)는 출력 레이어로 소프트맥스 레이어(softmax layer)(321)를 사용할 수 있으며, 소프트맥스 함수는 입력값(y_j)에 대해 출력값($\frac{e^{y_j}}{\sum_j e^{y_j}}$)을 가지게 된다.

[0046] 한편, DNN 제어모듈(300)의 제1 DNN부(310) 및 제2 DNN부(320)는 근사화 할 수 있도록 비지도 학습할 수 있다. 물론, 지도 학습 기반 체계를 통해 학습할 수 도 있다. 이는 결정모듈(400)이 DNN 훈련 중에 채널 상태 정보(CSI)의 불일치를 고려할 수 있도록 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보를 이용하여 손실 함수를 평가하는 것이다. 이는 DNN 제어모듈(300)이 채널 오류에 대한 신뢰성 있는 전송 전력의 제어를 학습하기 위함이다.

[0047] 먼저, 채널 k에 대한 DUE TP i의 송신기와 DUE TP j의 수신기 사이의 채널 이득은 $h_{i,j}^k$ 라 할 때, 제1 정보모듈(100)의 추정된 채널 상태 정보(estimated CSI)인 제1 채널 상태 정보를 $\hat{h}_{i,j}^k$, 2 정보모듈(200)의 임의로 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보($\bar{h}_{i,j}^k$)라 가정한다.

[0048] 이때, 상기 채널 이득은 거리 관련 경로 손실과 다중 경로 페이딩을 모두 포함하며, 인덱스 0이 레거시 셀룰러 전송의 송신기와 수신기 즉, CUE 및 셀룰러 BS에 할당된다. 그리고 제1 채널 상태 정보($\hat{h}_{i,j}^k$)는 채널 추정 오류 및 무선 채널의 시간 변화 특성으로 인해 실제 값($h_{i,j}^k$)과 차이가 있을 수 있으므로, 제1 채널 상태 정보($\hat{h}_{i,j}^k$)와 실제 값($h_{i,j}^k$)을 하기 (수학식 1)과 같이 모델링할 수 있다.

수학식 1

$$h_{i,j}^k = \hat{h}_{i,j}^k + \Delta h_{i,j}^k, \quad \forall i, j \in \mathbb{N} \cup \{0\}, k \in \mathbb{K}$$

[0049]

[0050] 여기서 $h_{i,j}^k$ 는 채널 이득의 실제값, $\hat{h}_{i,j}^k$ 는 제1 정보모듈(100)의 제1 채널 상태 정보, $\Delta h_{i,j}^k$ 는 채널 불확실을 나타낸다.

[0051] 또, 실제값($h_{i,j}^k$)의 매트릭스를 $\mathbf{H}$ 으로, 제1 정보모듈(100)의 제1 채널 상태 정보($\hat{h}_{i,j}^k$)에 대한 매트릭스를 $\hat{\mathbf{H}}$ 라 가정한다.

[0052] 도 2에서 도시된 바와 같이, 제1 정보모듈(100)의 정보를 전달받은 DNN 제어모듈(300)에서 제1 DNN부(310)가 개별 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍(TP)의 정규화된 총 전송 전력($\frac{\sum_{k \in \mathbb{K}} f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}{P_M}$)을 근사화하고, 제2 DNN부(320)가 각 채널에 할당된 전송 전력의 비율($\frac{f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}{\sum_{k \in \mathbb{K}} f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}$)을 근사화한다.

[0053] 여기서, $\vec{f}_i(\hat{\mathbf{H}}; \theta)$ 는 제1 채널 상태 정보에 대한 DUE TP i의 전송 전력이 기입된 함수이며, $\vec{f}_i(\hat{\mathbf{H}}; \theta) = \{f_i^1(\hat{\mathbf{H}}; \theta), f_i^2(\hat{\mathbf{H}}; \theta), \dots, f_i^K(\hat{\mathbf{H}}; \theta)\}$ 와 같이 표현될 수 있다. θ 는 $f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta) = P_i^k$ 와 같은 DNN 모델의 파라미터 집합이며, P_M 는 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 최대 전송 전력이다.

[0054] 결정모듈(400)은 제1 DNN부(310)에서 출력된 총 전송 전력($\frac{\sum_{k \in \mathbb{K}} f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}{P_M}$)과 제2 DNN부(320)에서 출력된 전송 전력의 비율($\frac{f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}{\sum_{k \in \mathbb{K}} f_i^k(\hat{\mathbf{H}}; \theta)}$)에 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스시버 쌍들(TPs)의 최대 전송 전력(P_M)을 곱셈 연산하여 채널 k에 할당된 DUE TP i의 전송 전력의 집합(P_i^k)을 결정한다.

[0055] DUE TP i의 전송 전력의 집합을 $\vec{P}_i = \{P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^K\}$ 라 하고, 각 DUE TP의 최대 전송 전력(P_M)은 $\sum_{k \in \mathbb{K}} P_i^k \leq P_M$ 조건을 만족하도록 설정할 수 있다.

[0056] 결정모듈(400)은 상기 전송 전력의 집합($\vec{P}_i$)과 제2 정보모듈(200)의 임의로 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보를 이용하여 손실함수를 결정한다.

[0057] 임의로 왜곡된 채널 상태 정보(arbitrarily distorted CSI)인 제2 채널 상태 정보($\bar{h}_{i,j}^k$)는 부정확한 환경에서 추정된 채널 상태 정보($\hat{h}_{i,j}^k$)의 영향을 보상하기 위해 하기 (수학식 2)와 같이 추정된 채널 상태 정보인 제1 채널 상태 정보($\hat{h}_{i,j}^k$)에 무작위로 생성된 채널 상태 정보($\Delta \hat{h}_{i,j}^k$)를 더하는 연산으로 $\bar{h}_{i,j}^k$ 를 생성할 수 있다.

수학식 2

$$\bar{h}_{i,j}^k = \hat{h}_{i,j}^k + \Delta \hat{h}_{i,j}^k, \quad \forall i, j \in \mathbb{N} \cup \{0\}, k \in \mathbb{K}.$$

[0059] 그리고 나서, 결정모듈(400)은 제2 채널 상태 정보($\bar{h}_{i,j}^k$)를 기반으로 하기 (수학식 3)의 손실함수를 사용하고,

하기 (수학식 4) 및 (수학식 5)를 이용하여 DNN 제어모듈(300)의 파라미터(θ)를 업데이트한다.

수학식 3

$$L = -\frac{\lambda_1}{N} \sum_{i \in \mathbb{N}} \bar{S}E_i + \lambda_2 \sum_{k \in \mathbb{K}} \tanh \left(\frac{[\sum_{l \in \mathbb{N}} \bar{h}_{l,0}^k f_l^k(\hat{H}; \theta) - I_{thr}]^+}{I_{thr}} \right)$$

여기서 $\hat{H}$ 는 제2 정보모듈(200)의 제2 채널 상태 정보($\bar{h}_{i,j}^k$)에 대한 매트릭스, $\bar{S}E_i$ 는 $\hat{H}$ 로 계산된 달성 가능한 스펙트럼 효율(SE; spectral efficiency), I_{thr} 는 간섭에 대한 임계값, λ_1 와 λ_2 는 제어하기 위한 파라미터에 해당한다.

결정모듈(400)은 상기 (수학식 3)을 통해 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미터 쌍(TPs)의 스펙트럼 효율(SE)을 최대화하면서 셀룰러 전송에 대한 간섭을 I_{thr} 미만으로 보장하면서 손실함수의 값을 최소화하도록 DNN 제어모듈(300)의 파라미터(θ)를 업데이트할 수 있다.

수학식 4

$$\bar{S}E_i = \sum_{k \in \mathbb{K}} \log_2 \left(1 + \frac{\bar{h}_{i,i}^k f_i^k(\hat{H}; \theta)}{N_0 W + \sum_{l \in \mathbb{N} \setminus \{i\}} \bar{h}_{l,i}^k f_l^k(\hat{H}; \theta) + \bar{h}_{0,i}^k P_C} \right)$$

여기서 N_0 는 잡음 스펙트럼 밀도, W 는 대역폭, P_C 는 셀룰러 사용자 단말(CUE)가 각 채널에 대한 전송 전력에 해당한다.

수학식 5

$$\begin{aligned} \theta^{[t]} &= \theta^{[t-1]} - \frac{\xi \lambda_1}{N} \sum_{i \in \mathbb{N}} \frac{\partial \bar{S}E_i}{\partial \theta} + \frac{\xi \lambda_2}{I_{thr}} \sum_{k \in \mathbb{K}} \left(\sum_{l \in \mathbb{N}} \bar{h}_{l,0}^k \frac{\partial f_l^k(\hat{H}; \theta)}{\partial \theta} \right) \\ &\quad \times \left(1 - \tanh^2 \left(\frac{[\sum_{l \in \mathbb{N}} \bar{h}_{l,0}^k f_l^k(\hat{H}; \theta) - I_{thr}]^+}{I_{thr}} \right) \right) \\ &\quad \times \mathbb{1}_{\sum_{l \in \mathbb{N}} \bar{h}_{l,0}^k f_l^k(\hat{H}; \theta) > I_{thr}}, \end{aligned}$$

결정모듈(400)은 (수학식 5)의 경사 하강법 알고리즘을 이용하여 DNN 제어모듈(300)의 파라미터(θ)를 업데이트할 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 따르면, 결정모듈(400)은 부정확한 추정 CSI를 기반으로 레거시 셀룰러 네트워크에 발생하는 간섭 레벨을 임계값(I_{thr}) 미만으로 유지하면서 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미터 쌍들(TPs)의 평균 스펙트럼 효율(SE)을 최대화할 수 있다.

- [0068] 도 3a 내지 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따라 대역폭(W)은 10MHz, 노이즈 스펙트럼 밀도(N_0)는 -174dBm/Hz, 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 전송 전력 집합(N)과 채널(K)은 3, 최대 전송 전력(P_M)은 20dBm, 간섭의 임계(I_{thr})은 -55dBm, 경로 손실 계수(path loss coefficient)가 $10^{3.453}$, 경로 손실 지수(path loss exponent)가 3.8로 설정하고, 장치간 사용자 단말(DUE)과 셀룰러 사용자 단말(CUE)가 30m X 30m의 영역에 무작위로 분포되어 있다고 가정한다.
- [0069] DNN 제어모듈(300)의 구조는 계층 수(N_L)가 7개, 숨겨진 노드 수(N_H)가 100개 일 때이다.
- [0070] 성능 메트릭의 경우, 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 평균 스펙트럼 효율(SE)와 QoS 위반 확률을 고려한다. QoS 제약 조건을 위반하면 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍들(TPs)의 대한 스펙트럼 효율(SE)이 0으로 설정되어 성능에 페널티를 부과하기 때문이다.
- [0071] 평균 스펙트럼 효율(SE)은
$$\left[\prod_{k \in \mathbb{K}} \mathbb{1}_{\sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^k P_i^k \leq I_{thr}} \cdot \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathbb{N}} SE_i \right]$$
으로, QoS 위반 확률은
$$\left[1 - \prod_{k \in \mathbb{K}} \mathbb{1}_{\sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^k P_i^k \leq I_{thr}} \right]$$
으로 표현할 수 있다.
- [0072] 도 3a 내지 3c는 본 발명에 따라 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 스펙트럼 효율(SE)의 그래프이며, 도 4a 내지 4c는 본 발명에 따라 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 QoS 위반 확률의 그래프이다.
- [0073] 평균 스펙트럼 효율(SE)는 감소하고 QoS 위반은 I_{thr} 감소에 따라 증가하는 것을 보여준다. 이는 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 전송 전력이 더 엄격하게 제한되고 QoS 제약 조건을 충족하기가 더 어렵기 때문이다.
- [0074] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 본 발명(도면에서 Proposed에 해당)은 QoS 위반 확률이 무시할 낮은 데이터 정도이며, 최적의 성능을 제공함을 알 수 있다. 무작위 방식(도면에서 random에 해당)은 낮은 스펙트럼 효율(SE)을 보여주지만, 지나치게 높은 QoS 위반을 갖는다. 이는 적절한 전송 전력 제어의 필요성을 보여주는 데이터이다.
- [0075] 또한 $\sigma = 0$ 으로 채널 상태 정보(CSI)가 정확할 때, 무작위 방식(random)을 제외한 모든 방식(ES, ES(Robust), Proposed, ERP, ERP(Robust))은 무시할만큼 작은 QoS 위반 확률을 보이나, 채널 오류를 고려하지 않는 ES 및 ERP 방식은 임계(I_{thr})가 증가함에 따라 높은 QoS 위반으로 인해 스펙트럼 효율(SE)의 속도 급저하 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0076] 도 5는 스펙트럼 효율(SE)에 대한 비교 그래프이며, 도 6은 QoS 위반 확률에 대한 비교 그래프이며, 도 5 및 도 6은 성능에 대한 σ 의 영향을 조사하기 위해 임계(I_{thr})가 -55dBm 일 때 각각의 σ 에 대한 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 스펙트럼 효율(SE)과 QoS 위반 확률을 비교한 그래프이다.
- [0077] 모든 방식의 스펙트럼 효율(SE)은 감소하고 QoS 위반 확률은 σ 의 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, ES와 ERP 방식의 스펙트럼 효율(SE)은 채널 상태 정보(CSI)의 부정확성을 고려하지 않기 때문에 ES(Robust)와 ERP(Robust)에 비해 현저히 낮은 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 본 발명의 일 실시예에 따르면, σ 가 0에서 0.5로 변경됨에 따라 본 발명(도면에서 Proposed에 해당)의 스펙트럼 효율(SE)은 3 %만 감소되나, ES (Robust)의 스펙트럼 효율(SE)은 8.1% 감소되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 발명은 QoS 위반 확률이 무시할 정도로 작은 $\sigma = 0.5$ 일 때 가장 높은 스펙트럼 효율(SE)을 달성한다.
- [0079] 도 7 및 도 8은 채널 오류의 유무(채널 오류가 있을 때는 σ 가 0이며, 채널 오류가 없을 때는 σ 가 0.5에 해당 함)에 따라 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 수(N)를 변경하여 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미버 쌍(TP)의 평균 스펙트럼 효율(SE)과 계산 시간에 대한 그래프이다.

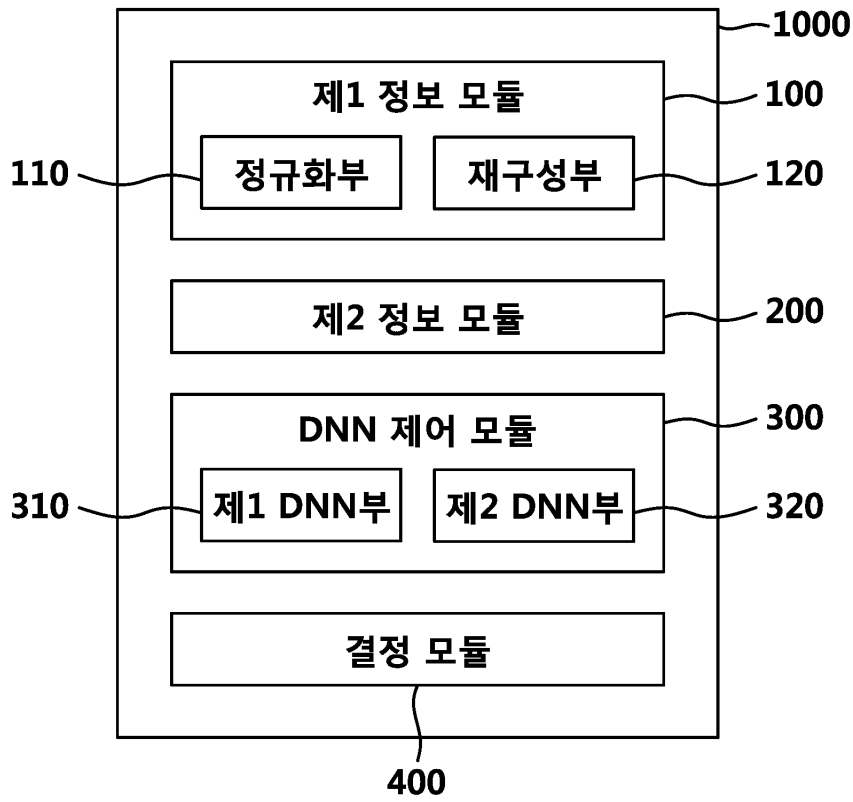
- [0080] ES 방식의 계산시간은 장치간 사용자 장비(DUE) 트랜스미터 쌍(TP)의 수(N)가 6.2일 경우 200시간 이상이 소요된다. 이처럼 수(N)가 크면 과도한 계산 시간을 발생하므로 ES 방식은 도 7의 그래프에서 생략하였다.
- [0081] 부정확한 환경에서의 채널 상태 정보(CSI)을 고려하지 않은 ES 및 ERP 방식은 ES(robust) 및 ERP(robust) 방식의 계산 시간과 동일하여 도 7의 그래프에서 ES(robust) 및 ERP(robust) 방식을 생략하였다.
- [0082] 본 발명은 가장 낮은 계산 시간을 달성하면서 고려된 기법 중에서 가장 높은 스펙트럼 효율(SE)을 나타낸다. 이는 실행가능성과 견고성을 증명할 수 있다.
- [0083] 이와 같이 본 발명에 따르면, 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치는 딥러닝을 이용하여 채널정보가 부정확한 환경에서도 최적의 전송 전력을 결정함으로써, 각 채널에서 D2D 사용자 장비(DUE)의 전송 전력이 최적화되어 평균 스펙트럼 효율성(SE; spectral efficiency)을 최대화 할 수 있고 인위적으로 왜곡된 채널 상태 정보(artificially distorted CSI)를 사용하여 부정확한 채널 상태 정보(CSI)의 영향을 보상하여 채널 오류에 대한 신뢰성 있는 전송 전력 제어할 수 있다.
- [0084] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

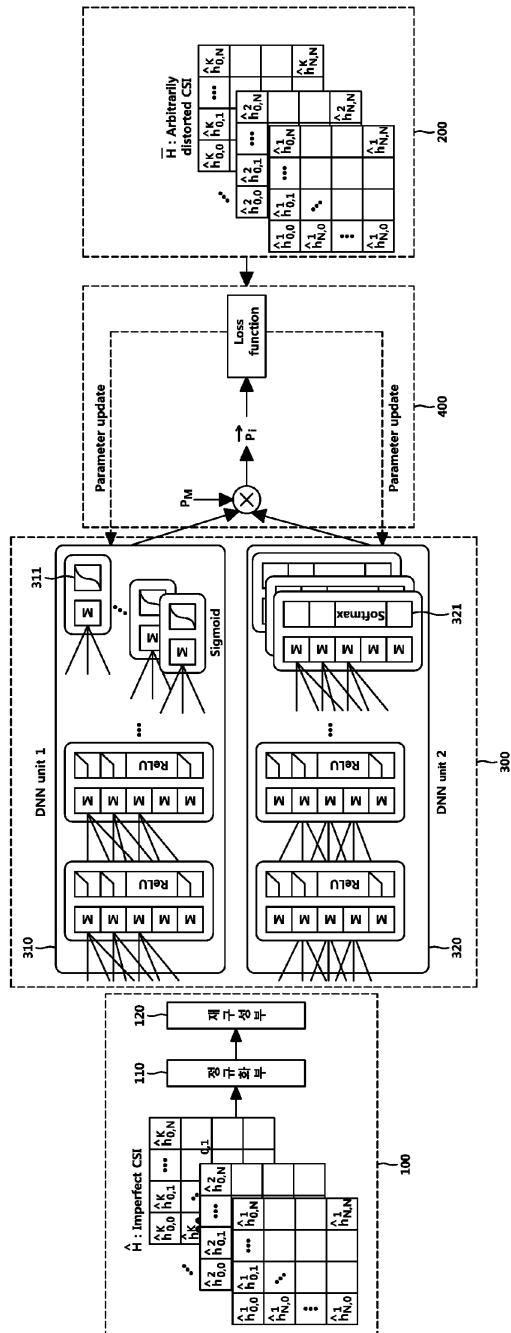
- [0086] 1000: 부정확한 채널 상태 정보를 고려한 전송 전력 제어 장치
- 100: 제1 정보모듈
- 110: 정규화부
- 120: 재구성부
- 200: 제2 정보 모듈
- 300: DNN 제어모듈
- 310: 제1 DNN부
- 311: 시그 모이드 레이어
- 320: 제2 DNN부
- 321: 소프트 맥스 레이어
- 400: 결정모듈

도면

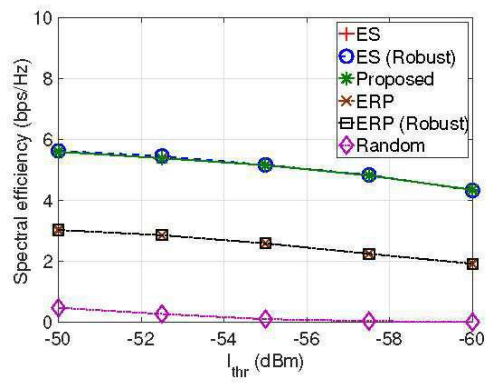
도면1



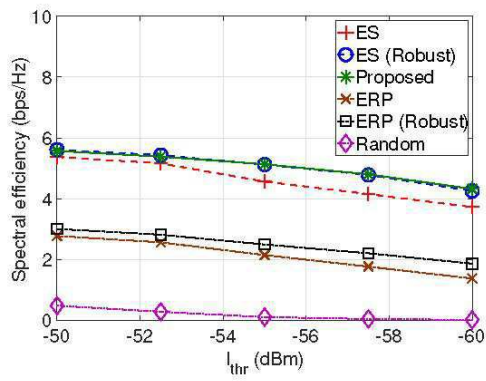
도면2



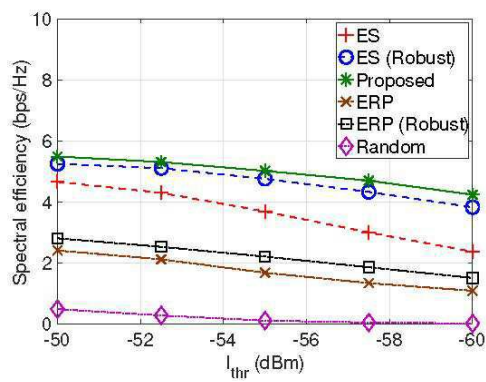
도면3a



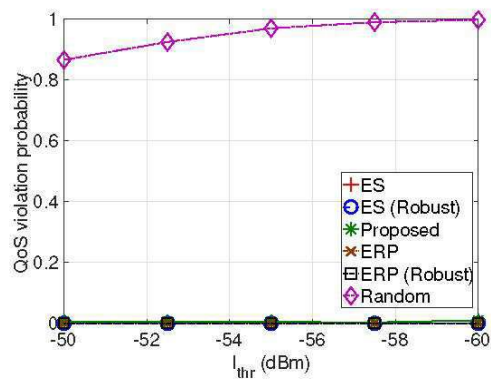
도면3b



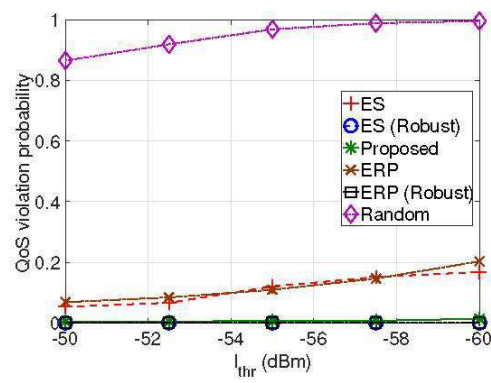
도면3c



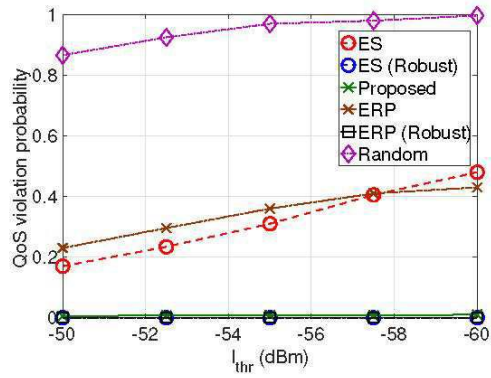
도면4a



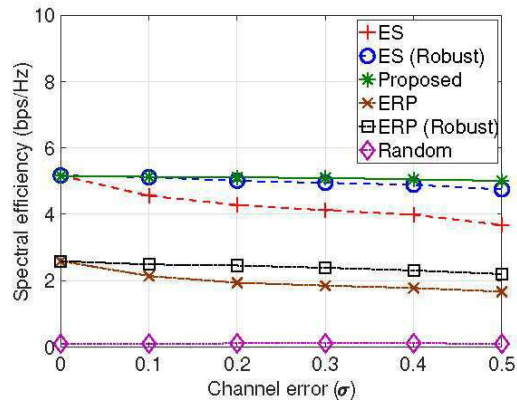
도면4b



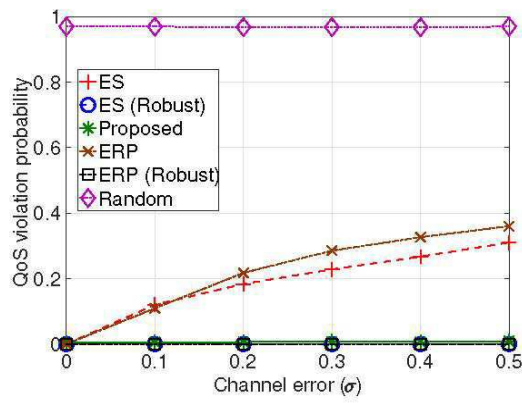
도면4c



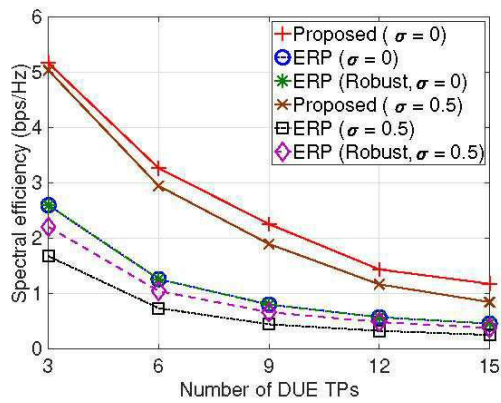
도면5



도면6



도면7



도면8

