



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0135510
(43) 공개일자 2022년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 24/02 (2009.01) G06N 3/02 (2019.01)
H04W 72/04 (2009.01) H04W 72/08 (2009.01)
H04W 92/18 (2009.01)

(52) CPC특허분류

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

(21) 출원번호 10-2021-0041272

(22) 출원일자 2021년03월30일

심사청구일자 2021년03월30일

(71) 출원인

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

이용섭

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

(74) 대리인

김중선

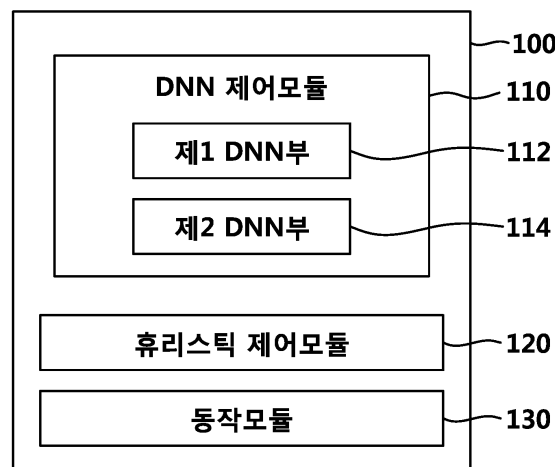
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치

(57) 요약

본 발명은 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치는 장치간 사용자 단말(DUE)이 DNN에 기초하여 자원을 할당하는 DNN 제어모듈, 상기 장치간 사용자 단말(DUE)이 각 채널에 균등한 자원을 할당하는 휴리스틱(Heuristic) 제어모듈, 설정된 제약조건을 기초로 하여 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈 중 하나를 동작시키는 동작모듈을 포함하고, 상기 동작모듈에 의해 동작되는 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈의 제어에 의해 자원을 할당하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04W 72/0473 (2013.01)

H04W 72/0493 (2013.01)

H04W 72/087 (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

장치간 사용자 단말(DUE)이 DNN에 기초하여 자원을 할당하는 DNN 제어모듈;

상기 장치간 사용자 단말(DUE)이 각 채널에 자원을 할당하는 휴리스틱(Heuristic) 제어모듈;

설정된 제약조건을 기초로 하여 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈 중 하나를 동작시키는 동작모듈을 포함하고,

상기 동작모듈에 의해 동작되는 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈의 제어에 의해 자원을 할당하는 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 DNN 제어모듈은,

완전 연결 레이어(fully connected layer)을 포함하는 제1 DNN부 및 제2 DNN부를 포함하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 DNN부는,

출력 레이어가 시그모이드 레이어(sigmoid layer)인 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 2 DNN부는

출력 레이어가 소프트맥스 레이어(softmax layer)인 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 제1 DNN부는,

상기 디바이스 대 디바이스(D2D) 쌍의 정규화된 총 전송 전력을 결정하는 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 제2 DNN부는,

각 채널에 할당된 전송 전력의 비율을 결정하는 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 휴리스틱 제어모듈은,

상기 장치간 사용자 단말(DUE)이 각 채널에 균등한 자원을 할당하는 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 제약조건은,

상기 DNN 제어모듈에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 한계 및 최소 요구 비율 또는 상기 휴리스틱 제어모듈에 대한 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율인 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 제약조건은,

$$\sum_{m \in \mathbb{M}} p_i^m \leq P_{\max} \quad \text{인 제1 제약조건,} \quad \sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^m p_i^m \leq I_{\text{thr}} \quad \text{인 제2 제약조건,} \quad \text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p}) \quad \text{인}$$

제3 제약조건, $\text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p}_c)$ 인 제4 제약조건인 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치.

여기서, p_i^m 는 채널 m에 할당된 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력, $P_{\max}$ 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한, $h_{i,0}^m$ 는 i 번째 D2D 쌍의 송신기와 채널 m에 대한 BS(base station) 사이의 채널 이득, I_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계값, DR_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값, $\text{DR}_i(\vec{p})$ 는 i 번째 DUE의 달성 가능한 비율, $\text{DR}_i(\vec{p}_c)$ 는 휴리스틱 방식에 통한 i 번째 장치간 사용자 단말(DUE)의 달성 가능한 비율을 의미한다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선통신 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신 시스템(WCS; WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM)에서 디바이스 대 디바이스(D2D; Device-to-Device) 통신은 기지국(BS; base station)과의 상호 작용없이 D2D 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments)간에 직

접 데이터 교환을 가능하게 하는 유망한 수단으로 등장하였다.

- [0003] 언더레이 D2D(underlay D2D) 통신에서 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 무선 리소스는 여러 장치간 사용자 장비(DUE)가 공유하게 되며, 결과적으로 장치간 사용자 장비(DUE)로부터의 전송은 셀룰러 사용자 장비(CUE)와 다른 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송에 큰 간섭을 일으킬 수 있으므로 장치간 사용자 장비(DUE)의 자원 사용량을 신중하게 결정해야 한다.
- [0004] 종래의 통신 기술은 반복적 수단을 통해 자원을 할당하는 접근 방식이 사용되었으나, 이는 엄청난 계산 시간으로 인해 실시간 작업을 방해 할 수 있으며 변경된 환경에 따라 새로운 접근 방식을 적용하기 제한된다는 문제점이 있다.
- [0005] 실시간으로 작업을 수행하기 위해 무선 통신 시스템(WCS; WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM)에서 딥 러닝(DL; deep learning) 기반의 자원 할당 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 심층 신경망(DNN; deep neural networks)을 통해 보편적인 근사값으로 간주하여 매우 비선형이고 복잡한 자원을 근사화하므로 복잡한 문제를 해결하지 않고도 최적의 리소스 할당을 획득할 수 있고, DNN 모델이 낮은 계산 시간으로 실행될 수 있다.
- [0006] 그러나, 이러한 DNN 기반 자원 할당 기법은 이전 접근 방식의 성능을 일반적으로 보장 할 수는 없으므로, 제약 조건을 엄격하게 충족해야 하는 환경에 적합하지 않다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 DNN 기반 및 휴리스틱 기반의 D2D(Device-to-Device) 통신을 위한 자원 할당 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0008] 본 발명은 QoS(Quality of Service) 제약 조건에 대한 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments)의 합를을 최대화하기 위해 각 채널에 할당된 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송 전력을 제어하는 자원 할당 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0009] 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

- [0010] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 장치간 사용자 단말(DUE)이 DNN에 기초하여 자원을 할당하는 DNN 제어모듈, 상기 장치간 사용자 단말(DUE)이 각 채널에 자원을 할당하는 휴리스틱(Heuristic) 제어모듈, 설정된 제약조건을 기초로 하여 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈 중 하나를 동작시키는 동작모듈을 포함하고, 상기 동작모듈에 의해 동작되는 상기 DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈의 제어에 의해 자원을 할당하는 것을 특징으로 하는 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치를 제공한다.
- [0011] 상기 DNN 제어모듈은, 완전 연결 레이어(fully connected layer)를 포함하는 제1 DNN부 및 제2 DNN부를 포함한다.
- [0012] 상기 제1 DNN부는, 출력 레이어가 시그모이드 레이어(sigmoid layer)인 것을 특징으로 한다.
- [0013] 상기 제2 DNN부는 출력 레이어가 소프트맥스 레이어(softmax layer)인 것을 특징으로 하는 한다.
- [0014] 상기 제1 DNN부는, 상기 디바이스 대 디바이스(D2D) 쌍의 정규화된 총 전송 전력을 결정하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 상기 제2 DNN부는, 각 채널에 할당된 전송 전력의 비율을 결정하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 상기 휴리스틱 제어모듈은, 상기 장치간 사용자 단말(DUE)이 각 채널에 균등한 자원을 할당하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 상기 제약조건은, 상기 DNN 제어모듈에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 한계 및 최소 요구 비율 또는 상기 휴리스틱 제어모듈에 대한 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율인 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 제약조건은, $\sum_{m \in \mathbb{M}} p_i^m \leq P_{\max}$ 인 제1 제약조건, $\sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^m p_i^m \leq I_{\text{thr}}$ 인 제2 제약조건, $\text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p})$ 인 제3 제약조건, $\text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p}_C)$ 인 제4 제약조건 인 것을 특징으로 한다.

[0019] 여기서, p_i^m 는 채널 m에 할당된 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력, $P_{\max}$ 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한, $h_{i,0}^m$ 는 i번째 D2D 쌍의 송신기와 채널 m에 대한 BS 사이의 채널 이득, I_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계값, DR_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값, $\text{DR}_i(\vec{p})$ 는 i번째 DUE의 달성 가능한 비율, $\text{DR}_i(\vec{p}_C)$ 는 휴리스틱 방식에 통한 i번째 장치간 사용자 단말(DUE)의 달성 가능한 비율을 의미한다.

발명의 효과

[0020] 이상과 같은 본 발명의 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치에 따르면, D2D(Device-to-Device) 통신을 위해 DNN 기반 기법 및 휴리스틱 기법을 사용함으로써, 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 간섭 양이 허용 가능한 수준에서 제어되고 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments)의 최소 비율을 동시에 확인할 수 있다. 또한, 장치간 사용자 장비(DUE)의 합계 비율을 최대화할 수 있다.

[0021] 본 발명은 각 채널에 할당된 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송 전력이 최적의 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율을 결정함으로써, QoS 제약 조건을 효율적으로 보장할 수 있는 기대효과를 가진다.

[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 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치를 설명하기 위한 블록도

도 2는 도 1의 DNN 제어모듈을 설명하기 위한 블록도

도 3a 내지 3c는 본 발명에 따라 장치간 사용자 장비(DUE), 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 합계 비율 및 제약조건(constraint) 위반 확률에 대한 그래프

도 4a 내지 4c는 본 발명에 따라 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)에 따른 성능 그래프

도 5a 내지 5c는 본 발명에 따라 디바이스 대 디바이스(D2D) 쌍의 수에 따른 성능 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 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치(100)를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0031] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 D2D 통신을 위한 자원 할당 장치(100)는 DNN 제어모듈(110), 휴리스틱(Heuristic) 제어모듈(120), DNN 제어모듈 또는 휴리스틱 제어모듈 중 하나를 동작시키는 동작모듈(130)을 포함한다.
- [0032] DNN 제어모듈 (110)은 DNN 방식 기반으로 자원 할당 조건을 결정하는 역할이며, 디바이스 대 디바이스(D2D) 쌍의 정규화된 총 전송 전력을 결정할 수 있다.
- [0033] DNN 제어모듈(110)은 DNN 방식에 기초한 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)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.
- [0034] 구체적으로 DNN 제어모듈(110)의 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)는 도 2에서 후술하도록 한다.
- [0035] 휴리스틱 제어모듈(120)은 휴리스틱(Heuristic) 기반으로 각 채널에 할당된 전송 전력의 비율을 결정하는 역할이며, DNN 제어모듈(110)의 QoS 제약조건을 보다 효율적으로 충족시키기 위함이다.
- [0036] 휴리스틱 제어모듈(120)은 ERP(equally reduced power) 방식을 활용하여 각 D2D 장치간 사용자 장비(DUE; D2D user equipments)가 각 채널에 자원을 할당한다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 휴리스틱 제어모듈(120)은 하기의(수학식1) 및 (수학식 2)를 이용하여 각 채널에 균등한 전송 전력(P_{Perp})을 할당하도록 결정할 수 있다.

수학식 1

[0038]
$$\vec{p}_C = p_{\text{Perp}} \cdot \mathbf{1}_{N \cdot M}$$

[0039] 여기서, $\vec{p}_C$ 는 휴리스틱 방식에 의해 결정되는 자원 할당, p_{Perp} 는 전송 전력, $\mathbf{1}_x$ 는 길이가 x 인 모든 1's의 벡터를 의미한다.

[0040] 그리고, 휴리스틱 제어모듈(120)은 하기의 (수학식 2)를 이용하여 전송 전력(p_{Perp})을 최적화할 수 있다.

수학식 2

[0041]
$$\begin{aligned} & \underset{0 \leq p_{\text{Perp}} \leq \frac{P_{\text{max}}}{M}}{\text{maximize}} && \sum_{i \in \mathbb{N}} \text{DR}_i(\vec{p}_C) \\ & \text{s.t.} && \sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^m p_{\text{Perp}} \leq I_{\text{thr}} \quad \forall m \in \mathbb{M} \\ & && \text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p}_C) \quad \forall i \in \mathbb{N}. \end{aligned}$$

[0042] 여기서, $\text{DR}_i(\vec{p}_C)$ 는 휴리스틱 방식에 통한 i 번째 장치간 사용자 단말(DUE)의 달성 가능한 비율, $h_{i,0}^m$ 는 i 번

제 D2D 쌍의 송신기와 채널 m 에 대한 BS 사이의 채널 이득, I_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계값, DR_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값을 의미한다.

[0043] 그리고 나서, 휴리스틱 제어모듈(120)은 최적화된 전송 전력(P_{erp})을 통해 각 채널에 할당된 전송 전력의 비율을 결정할 수 있다.

[0044] 동작모듈(130)은 DNN 제어모듈(110)에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 한계 및 최소 요구 비율 또는 휴리스틱 제어모듈(120)에 대한 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율인 제약조건에 따라 제어모듈의 실행을 제어하는 역할이다.

[0045] 상기 제약조건은 DNN 제어모듈(110)에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 한계의
$$\sum_{m \in M} p_i^m \leq P_{max} \quad \sum_{i \in N} h_{i,0}^m p_i^m \leq I_{thr}$$
인 제1 제약조건,
$$DR_{thr} \leq DR_i(\vec{p})$$
인 제2 제약조건과 DNN 제어모듈(110)에 대한 최소 요구 비율인
$$DR_{thr} \leq DR_i(\vec{p}_C)$$
인 제3 제약조건, 휴리스틱 제어모듈(120)에 대한 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율인
$$DR_{thr} \leq DR_i(\vec{p}_C)$$
인 제4 제약조건일 수 있으며, 상기 제약조건은 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다.

[0046] 여기서, p_i^m 는 채널 m 에 할당된 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력, P_{max} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한, $h_{i,0}^m$ 는 i 번째 D2D 쌍의 송신기와 채널 m 에 대한 BS(base station) 사이의 채널 이득, I_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계값, DR_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값, $DR_i(\vec{p})$ 는 i 번째 DUE의 달성 가능한 비율, $DR_i(\vec{p}_C)$ 는 휴리스틱 방식에 통한 i 번째 장치간 사용자 단말(DUE)의 달성 가능한 비율을 의미한다.

[0047] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제어모듈(130)은 제약조건에 따라 디바이스 간 자원을 할당하도록 하기의 (수학식 3)를 이용한다.

수학식 3

$$\vec{p}^* = \begin{cases} \vec{p}_D, & \text{for } \sum_{i \in N} DR_i(\vec{p}_C) \leq f(\vec{p}_D) \\ \vec{p}_C, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

[0049] 여기서, $\vec{p}_D$ 는 DNN 제어모듈, $\vec{p}_C$ 는 휴리스틱 제어모듈을 의미한다.

[0050] 그리고, $f(\vec{p}_D)$ 는 아래와 같이 정의한다.

$$f(\vec{p}_D) = \sum_{i \in N} DR_i(\vec{p}_D) \cdot \prod_{m \in M} \mathbb{1}_{\sum_{i \in N} h_{i,0}^m \hat{p}_i^m \leq I_{thr}} \cdot \prod_{i \in N} \mathbb{1}_{DR_{thr} \leq DR_i(\vec{p}_D)}$$

[0052] 여기서, $\mathbb{1}_x$ 은 인디케이터 함수이고 $\hat{p}_i^m$ 는 DNN 방식을 위해 채널 m 에 할당된 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력이다.

[0053] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제어모듈(130)은 제1 내지 제3 제약조건에 따라 DNN 제어모듈(110)의 자원 할당이 QoS 제약 조건을 충족하지 못한 경우 또는 제4 제약조건에 따라 ERP 방식을 사용하는 휴리스틱 제어모듈(120)의 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 비율이 더 높은 경우에, DNN 제어모듈(110) 대신 휴리스틱 제어모듈

(120)이 사용될 수 있다. 이는 각 채널에 할당된 장치간 사용자 단말(DUE)의 전송 전력을 적응적으로 유도하여 장치간 사용자 단말(DUE)의 총 합를 최소화하기 위함이다.

[0054] 도 2에 도시된 바와 같이, DNN 제어모듈(110)은 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)를 포함하며, 상기 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)의 입력은 dB 스케일의 정규화된 채널 이득(normalized channel gain, $\hat{h}_{i,j}^m$) 및 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 정규화된 전송 전력($\frac{P_c^m}{P_{\max}}$)일 수 있다.

[0055] 그리고, 상기 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)는 완전 연결 레이어(fully connected layer), 시그모이드 레이어(sigmoid layer) 또는 소프트맥스 레이어(softmax layer)가 단독으로 또는 이들의 조합으로 구성될 수 있다.

[0056] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)는 완전 연결 레이어 및 완전 연결 레이어와 직렬 연결된 ReLU(Rectified Linear Unit) 레이어를 복수 개 포함하고 있으며, 제1 DNN부(112)의 출력레이어는 시그모이드 레이어(sigmoid layer)(111)이며, 제2 DNN부(114)의 출력레이어는 소프트맥스 레이어(softmax layer)(113)일 수 있다.

[0057] 상기 제1 및 제2 DNN부(112, 114)는 작동 모드의 완전 연결 레이어에 계층 수(N_L)와 숨겨진 노드 수(N_H)가 설정되고, 완전 연결 레이어에서 출력된 출력값을 ReLU 레이어로 전달한다. 이때, 제1 및 제2 DNN부(112, 114)는 ReLU 레이어로 전달될 출력값이 음수일 경우 차단할 수 있다.

[0058] 본 발명의 일 실시예에 따르면, i번째 완전 연결 레이어에 대한 입력(x_i), 가중치(W_i), 바이어스(b_i)라고 가정하면, i번째 완전 연결 레이어는 $W_i x_i + b_i$ 의 출력값을 출력할 수 있다. 이때, 제1 및 제2 DNN부(112, 114)는 완전 연결 레이어에서 ReLU 레이어로 전달될 출력값 또는 $W_i x_i + b_i$ 이 음수값 인지 판단하고, 음수값을 차단할 수 있다.

[0059] 상기 ReLU 레이어는 x_R 이 입력될 경우 $[x_R]^+ = \max(x_R, 0)$ 을 출력할 수 있다. 이는 DNN의 비선형성을 보여주기 위함이다.

[0060] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제1 DNN부(112)는 출력 레이어로 시그모이드 레이어(sigmoid layer)(111)를 사용할 수 있으며, 시그모이드 함수는 입력값(x)에 대해 출력값($\frac{1}{1+e^{-x}}$)으로 나타낼 수 있다. 시그모이드 레이어(111)의 출력은 0과 1 사이의 범위에 있으므로, 제1 제약조건인 QoS 제약 조건($\sum_{m \in \mathbf{M}} p_i^m \leq P_{\max}$)을 만족하게 된다.

[0061] 그리고, 제1 DNN부(112)는 DNN 구조에서 개별 D2D 쌍의 정규화된 총 전송 전력($\frac{\sum_{m \in \mathbf{M}} p_i^m}{P_{\max}}$)을 결정할 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 제2 DNN부(114)는 출력 레이어로 소프트맥스 레이어(softmax layer)(113)를 사용할 수 있으며, 소프트맥스 함수는 입력값(y_j)에 대해 출력값($\frac{e^{y_j}}{\sum_j e^{y_j}}$)을 가지게 된다. 제2 DNN부(114)는 출력값(K)를 갖는 소프트맥스 레이어(113)가 N 개로 구성되어 있어 총 출력력이 $N \cdot K$ 가 될 수 있다. 이는, i번째 소프트맥스 레이어(113)의 출력력이 K 채널에서 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력 비율을 의미한다.

[0063] 그리고, 제2 DNN부(114)는 각 채널에 할당된 전송 전력의 비율($\frac{p_i^m}{\sum_{m \in \mathbf{M}} p_i^m}$)을 결정할 수 있다.

[0064] 상기 제1 및 제2 DNN부(112, 114)에서 결정된 쌍의 총 전송 전력($\frac{\sum_{m \in \mathbb{M}} p_i^m}{P_{\max}}$) 및 전송 전력의 비율($\frac{p_i^m}{\sum_{m \in \mathbb{M}} p_i^m}$)에 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)을 곱하여 DNN 제어모듈(110)($\vec{p}_D$)의 자원 할당 조건을 결정할 수 있다.

[0065] 한편, DNN 제어모듈(110)의 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)는 근사화 할 수 있도록 비지도 학습할 수 있다. 물론 지도 학습 기반 체계를 통해 학습할 수 도 있다. 여기서 제1 DNN부(112) 및 제2 DNN부(114)을 훈련하기 위해 DNN 제어모듈(110)은 하기 (수학식 4)와 같은 손실함수(loss function)로 사용하여 심층 학습할 수 있다.

수학식 4

$$L = -\lambda_1 \sum_{i \in \mathbb{N}} \text{DR}_i(\vec{p}) + \lambda_2 \sum_{m \in \mathbb{M}} \tanh \left(\frac{[\sum_{l \in \mathbb{N}} h_{l,0}^m p_l^m - I_{\text{thr}}]^+}{I_{\text{thr}}} \right) + \lambda_3 \sum_{i \in \mathbb{N}} \tanh \left(\frac{[\text{DR}_{\text{thr}} - \text{DR}_i(\vec{p})]^+}{\text{DR}_{\text{thr}}} \right)$$

[0067] 여기서, λ_1 , λ_2 , λ_3 는 손실함수에 대한 매개 변수이다.

[0068] λ_1 는 DNN의 훈련은 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 비율의 최대화, λ_2 는 셀룰러 사용자 단말(CUE)에서 간섭의 정규화, λ_3 은 장치간 사용자 단말(DUE)에 대한 최소 비율 요구 사항을 나타낸다.

[0069] DNN 제어모듈(110)은 DNN의 매개 변수는 $\sum_{i \in \mathbb{N}} \text{DR}_i(\vec{p})$ 를 최대화하면서 $\sum_{l \in \mathbb{N}} h_{l,0}^m p_l^m$ 가 I_{thr} 보다 작고, $\text{DR}_i(\vec{p})$ 가 DR_{thr} 보다 크도록 하는 방식으로 업데이트되면서 학습할 수 있다.

[0070] 도 3a 내지 3c, 도 4a 내지 4c, 도 5a 내지 5c는 본 발명의 일 실시예에 따라 대역폭(W)은 10MHz, 노이즈 스펙트럼 밀도(N_0)는 -174dBm/Hz, D2D 쌍의 집합 및 채널은 2, 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값(DR_{thr})는 5Mbps, 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 최대 전송전력은 23dBm, 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 최대 전송 전력은 17dBm으로 설정하고, D2D 쌍에서 송신기와 수신기 사이의 최대 거리는 15m이며 BS(base station)가 영역 중앙에 위치한 상태의 성능 그래프이다.

[0071] 장치간 사용자 단말(DUE) 및 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율 및 제1 내지 제4 제약조건의 위반 확률을 p_{out} 라 할 때, 동작모듈(130)은 셀룰러 사용자 단말(CUE)와의 간섭에 대한 제약 조건과 장치간 사용자 단말(DUE)의 최소 요구 속도를 고려한 하기의 (수학식 5)를 사용할 수 있다.

수학식 5

$$p_{\text{out}} = \mathbb{E} \left[1 - \prod_{m \in \mathbb{M}} \mathbb{1}_{\sum_{i \in \mathbb{N}} h_{i,0}^m p_i^m \leq I_{\text{thr}}} \cdot \prod_{i \in \mathbb{N}} \mathbb{1}_{\text{DR}_{\text{thr}} \leq \text{DR}_i(\vec{p})} \right]$$

[0073] 여기서, $h_{i,0}^m$ 는 i 번째 D2D 쌍의 송신기와 채널 m에 대한 BS 사이의 채널 이득, p_i^m 는 채널 m에 할당된 i 번째 D2D 쌍의 전송 전력, I_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계값, DR_{thr} 는 장치간 사용자 단말(DUE)의 비율 임계값, $\text{DR}_i(\vec{p})$ 는 i번째 DUE의 달성 가능한 비율을 의미한다.

[0074] 동작모듈(130)은 최적 기법, 랜덤 기법, DNN 기반 기법, 휴리스틱 기법(ERP 기법)의 조합을 통해 최적의 자원 할당을 식별하고, 랜덤 방식에서 각 채널에 대한 송신 전력을 임의로 선택한다. 또한 장치간 사용자 단말(DUE) 및 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율 계산을 위해 제약조건 위반에 대한 페널티를 부과하기 위해 제약 조건

이 충족되지 않은 경우 합계 비율을 0으로 설정한다.

- [0075] 도 3a 내지 3c는 본 발명에 따라 장치간 사용자 장비(DUE), 셀룰러 사용자 장비(CUE; cellular user equipments)의 합계 비율 및 제약조건(constraint) 위반 확률에 대한 그래프이며, 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)이 20dBm 일 때 장치간 사용자 단말(DUE) 및 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율을 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계(I_{thr}) 함수로 합산한 비율을 나타낸다.
- [0076] 구체적으로 도 3a는 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)이 20dBm 일 때 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 장치간 사용자 장비(DUE)의 합계 비율, 도 3b는 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율, 도 3c는 가변 간섭의 임계(I_{thr})에 대한 제한조건 위반 확률에 대한 그래프를 보여준다.
- [0077] 휴리스틱 기반의 제4 제약조건에 대한 위반 확률은 DNN 기반의 제1 내지 제3 제약조건에 대한 위반 확률보다 크기 때문에 도 3c에서는 제약조건 위반 확률 (Constraint violation probability)이 40 % 이상은 생략하였다.
- [0078] 도 3a 내지 3c에 도시된 바와 같이, 셀룰러 사용자 단말(CUE)에서 발생하는 간섭을 줄이기 위해 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송 전력이 보다 엄격하게 조절되어 휴리스틱 기반을 제외한 모든 방식에 대해 간섭의 임계(I_{thr})이 감소함에 따라 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 속도는 감소하며 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 속도는 증가하는 것을 보여준다.
- [0079] 도 3c에 도시된 바와 같이 간섭의 임계(I_{thr})가 -70dBm 일 때 DNN 기반의 제약 위반 확률은 2.7 %이며, DNN 제어모듈 및 휴리스틱 제어모듈에 따라 제어하는 본 발명(도면에서 Prop. Scheme에 해당)에 비해 제약조건 위반 확률이 무시할 수 없을 정도로 크다는 것을 결과에서 확인할 수 있다.
- [0080] 한편, 휴리스틱 기반의 제약 위반 확률은 무시할 정도로 작은 값으로 가지기 때문에 달성 가능한 장치간 사용자 단말(DUE) 합계 비율은 휴리스틱 기반 방식이 DNN 기반 방식보다 훨씬 낮다. DNN 제어모듈 및 휴리스틱 제어모듈에 따라 제어하는 본 발명은 DNN 기반 방식으로 달성 할 수 있는 것보다 더 높은 장치간 사용자 단말(DUE)의 최적 합계 비율(99%)를 달성 할 수 있다.
- [0081] 도 4a 내지 4c는 본 발명에 따라 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$) 함수에 따른 성능 그래프이다. 구체적으로 도 4a는 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계(I_{thr})가 -50dBm 일 때 가변 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 비율, 도 4b는 가변 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)에 대한 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율, 도 4c는 가변 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)에 대한 제약조건 위반 확률에 대한 그래프를 보여준다.
- [0082] 도 4a 내지 4c에 도시된 바와 같이, 보다 높은 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)은 D2D 쌍 간에 안정적인 전송을 보장하는 동시에 셀룰러 사용자 단말(CUE)에서의 간섭을 증가시킬 수 있다. 즉, 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 비율과 제약조건 위반 확률은 모두 증가하나 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)이 증가함에 따라 셀룰러 사용자 단말(CUE)의 합계 비율은 감소하게 된다.
- [0083] 도 5a 내지 5c는 본 발명에 따라 장치간 사용자 단말(DUE) 전송에 따른 간섭의 임계(I_{thr})가 -50 dBm, 장치간 사용자 단말(DUE)의 최대 전송 전력 제한($P_{\max}$)이 20dBm, M = 5일 때, 디바이스 대 디바이스(D2D) 쌍의 수에 따른 성능 그래프이다. 구체적으로, 도 5a는 D2D 쌍 수에 대한 장치간 사용자 단말(DUE)의 합계 비율, 도 5b는 D2D 쌍 수에 대한 제약조건 위반 확률, 도 5c는 D2D 쌍 수에 대한 계산 시간에 대한 그래프를 보여준다.
- [0084] 도 5a에 도시된 바와 같이 장치간 사용자 단말(DUE)의 가장 높은 합계 비율을 나타낸다. 이는 도 3a 내지 3c, 도 4a 내지 4c와 같이 제약조건 위반 확률이 무시할 수 있을 정도로 작은 값을 가지기 때문이다.
- [0085] 도 5c에 도시된 바와 같이, DNN 및 휴리스틱 기반으로 한 본 발명은 계산 시간이 10 밀리 초 미만이므로 실시간으로 작업을 수행할 수 있다. 예를들어 D2D 쌍이 50 개일 때 14.4 밀리 초로 측정되어 상당히 낮은 결과를 갖는다.

다.

[0086] 이와 같이 본 발명에 따르면, 무선통신 시스템에서 디바이스 대 디바이스(D2D) 통신을 위한 자원 할당 장치는 D2D(Device-to-Device) 통신을 위해 DNN 기반 기법 및 휴리스틱 기법을 사용함으로써, 사용자 장비(DUE)의 합계 비율을 최대화 할 수 있고, 각 채널에 할당된 장치간 사용자 장비(DUE)의 전송 전력이 최적의 장치간 사용자 장비(DUE) 합계 비율을 결정하여 제약 조건을 효율적으로 보장할 수 있다.

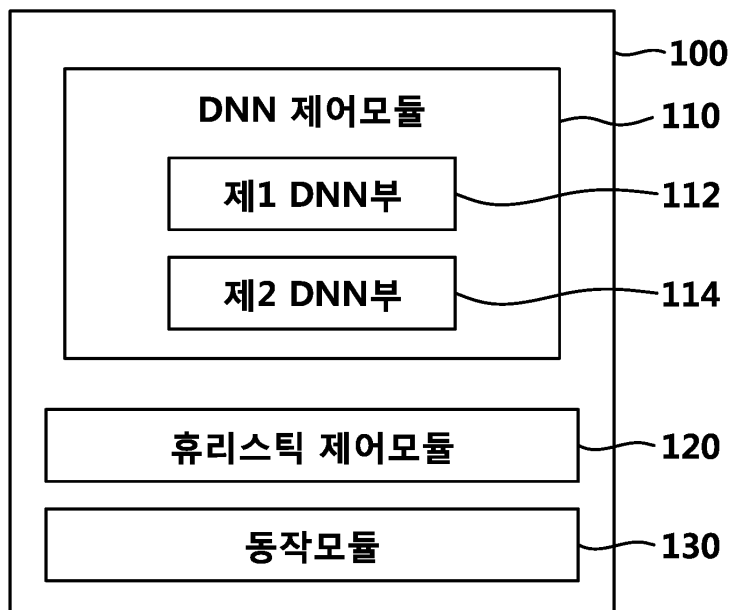
[0087] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

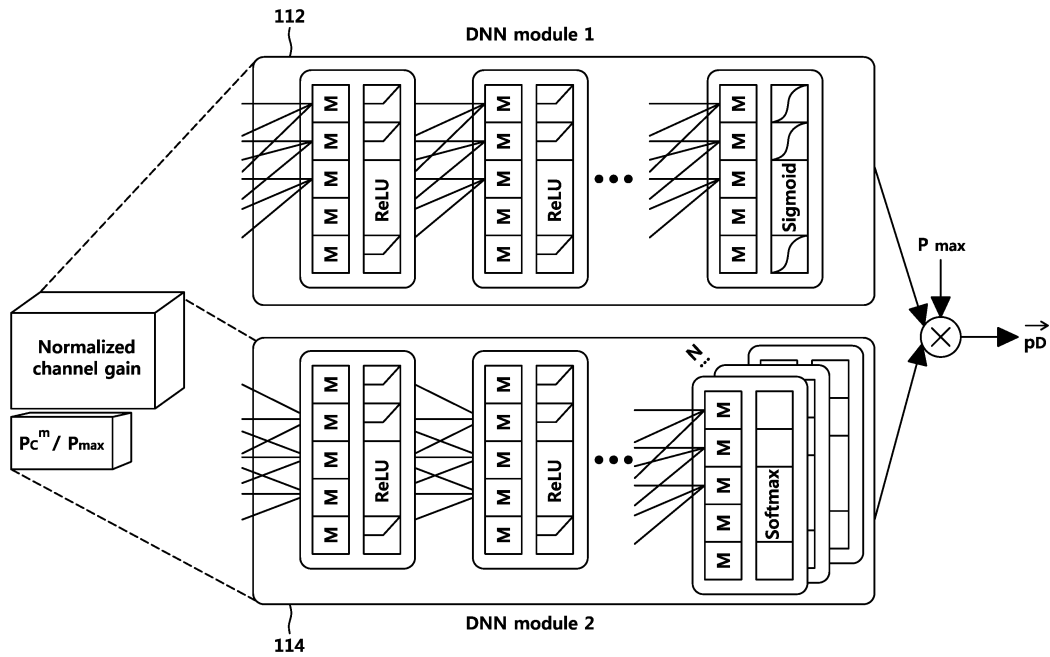
[0089] 100: D2D 통신을 위한 자원 할당 장치
110: DNN 제어모듈
111: 시그모이드 레이어
112: 제1 DNN부
113: 소프트맥스 레이어
114: 제2 DNN부
120: 휴리스틱 제어모듈
130: 동작모듈

도면

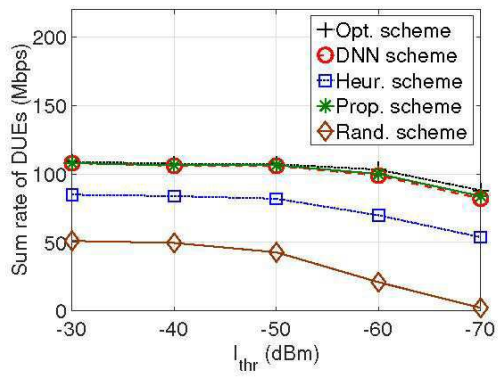
도면1



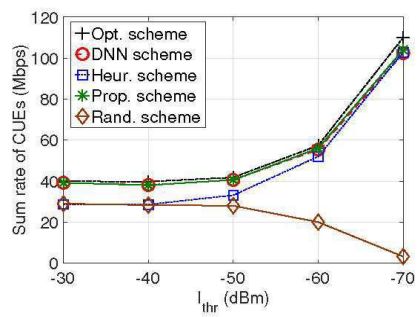
도면2



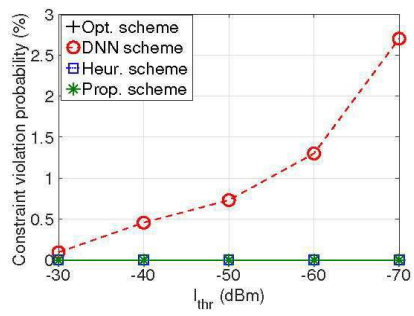
도면3a



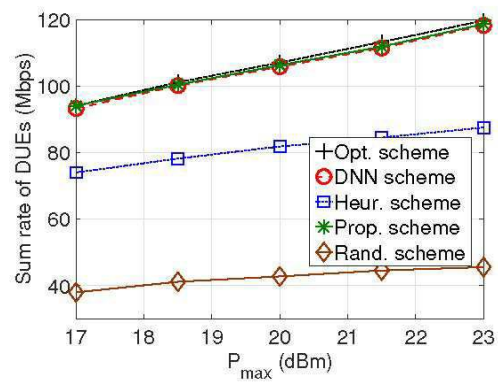
도면3b



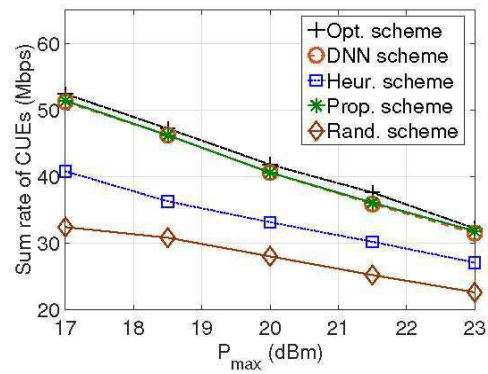
도면3c



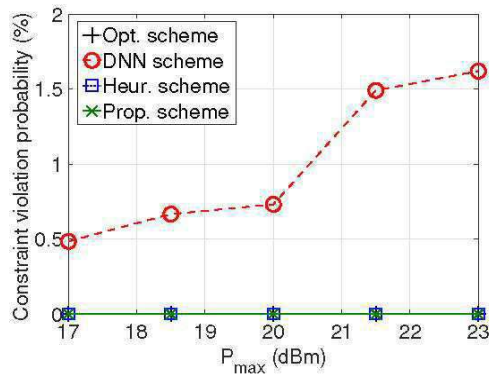
도면4a



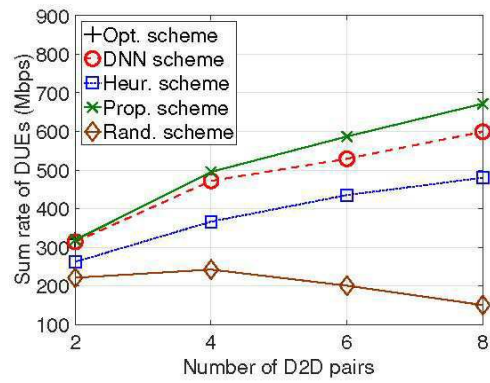
도면4b



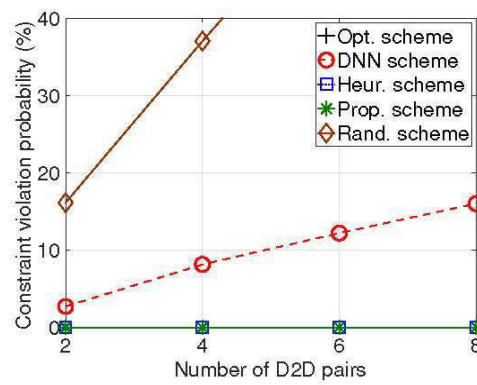
도면4c



도면5a



도면5b



도면5c

