

고밀도 다중 안테나 D2D 네트워크를 위한 분산 기회적 스케줄링

채승호, 김태훈*, 정방철**

한국산업기술대학교, *한밭대학교, **충남대학교

shchae@kpu.ac.kr, thkim@hanbat.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Distributed Opportunistic Scheduling for Dense Multi-Antenna D2D Networks

Seong Ho Chae, Taehoon Kim*, Bang Chul Jung**

Korea Polytechnic Univ., *Hanbat National Univ., **Chungnam National Univ.

요약

본 논문에서는 고밀도 다중 안테나 D2D (Device-to-Device) 네트워크를 위한 분산 기회적 스케줄링 기법을 제안한다. 제안 기법은 간섭 및 원하는 신호 크기에 대한 임계값을 활용하여, K 개의 디바이스 페어를 분산적, 기회적, 순차적인 방법으로 선택한다. 순차적인 D2D 페어 선택 단계에서는 각 D2D 페어들은 다중 안테나를 활용하여 이전 선택 단계에서 선택된 사용자들에게 주고 받는 간섭이 최소화 되도록 안테나를 선택한다. 모의 실험 결과를 통해, 제안한 기법이 기존 기회적 스케줄링 기법들에 비해 더욱 효과적으로 간섭 및 원하는 신호를 제어함으로써, 우수한 sum rate을 얻을 수 있음을 보였다.

I. 서론

사물 인터넷과 같은 새로운 패러다임의 등장과 함께, 최근 랩탑, 스마트폰 등과 같이 통신 디바이스들의 숫자가 폭발적으로 증가하고 있으며, 이는 기존 셀룰러 네트워크에 스펙트럼 부족과 간섭 등과 같은 수 많은 문제들을 야기하고 있다 [1]. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로, 디바이스간 통신 (Device-to-Device: D2D)이 각광을 받고 있으며, 디바이스간 통신은 시스템 용량 증대, 스펙트럼 효율 증대, 효과적 트래픽 오프로딩 등 다양한 장점을 제공한다.

현재까지 D2D 통신과 관련하여 많은 연구들이 수행되었으며, 특히 인밴드(inband) D2D 통신에서 중앙 집중 링크 스케줄링, 파워 제어, 자원 할당과 같은 연구들이 대부분 이루어졌다[2], [3]. 하지만, 그러한 중앙 집중적 D2D 통신은 네트워크 단말 수에 따라 연산 복잡도 및 오버헤드가 급격히 증가함에 따라, 많은 수의 단말들을 포함하고 있는 고밀도 D2D 통신 네트워크에 직접 적용되기에는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 최근에 서로 다른 시스템 환경 및 목적에 대해, 다양한 분산 스케줄링 알고리즘들이 제안되었다 [4]-[6].

본 논문에서는 고밀도 다중 안테나 D2D 네트워크에서 새로운 형태의 안테나 선택 기반 분산 기회적 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 기회적이고 순차적으로 K 개의 D2D 페어들을 분산적인 방법으로 선택하며, 각 선택 단계에서 각 D2D 페어는 기 선택된 D2D 페어들에 주고 받는 간섭량이 최소화 되도록 송수신 안테나를 선택한다. 선택된 안테나를 기준으로 간섭 및 원하는 신호 크기 제약 조건을 모두 만족시키는 D2D 페어를 선택한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 기지국의 커버리지 영역 내에 n 개의 D2D 페어가 고밀도로 랜덤하게 위치하고 있는 고밀도 오버레이 D2D 네트워크 (dense overlay D2D networks)를 고려한다. 오버레이 D2D 네트워크에서 D2D 통신과 셀룰러 통신은 서로 다른 주파수를 활용하므로, 서로간에 간

섭은 존재하지 않는다. 제한된 자원 및 스케줄링 복잡도로 인해, n 개의 D2D 페어 중 단지 K 개만 동시에 통신이 가능한 시나리오를 고려한다. 각 D2D 송수신기들은 동일한 안테나 수 M 을 가짐을 가정하며, 채널은 시불변 주파수 플랫 페이딩을 가정한다. 모든 D2D 페어들의 인덱스 집합을 U 로, $k(1 \leq k \leq K)$ 번째 D2D 페어 선택 단계까지 선택된 k 개의 D2D 페어들의 인덱스 집합을 S_k 로, k 번째 D2D 페어 선택 단계를 지난 후에 남아 있는 D2D 페어들의 인덱스 집합을 S_k^c 로 각기 표기한다. K 개의 D2D 페어들이 성공적으로 선택되면, 선택된 송수신기들은 선택된 안테나를 통해 데이터를 전송한다. 기호의 편의를 위해, K 개의 선택된 D2D 페어들의 인덱스 집합을 $K = \{1, 2, \dots, K\}$ 라 하면, j 번째 선택된 D2D 페어의 수신 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{y}_j = \sqrt{\gamma_{j,j}} \mathbf{H}_{j,j} \mathbf{w}_j s_j + \sum_{i=1, i \neq j}^K \sqrt{\gamma_{i,j}} \mathbf{H}_{i,j} \mathbf{w}_i s_i + \mathbf{z}_j, \quad (1)$$

여기서, $\sqrt{\gamma_{i,j}} (\leq 1)$ 은 i 번째 송신기와 j 번째 수신기 사이 경로 손실이고 $\mathbf{H}_{i,j} \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 은 i 번째 송신기와 j 번째 수신기 사이 채널 행렬이며 각 원소들은 서로 독립적이고 평균이 0이고 분산이 1인 동일한 복소 가우시안 확률 분포를 따른다. s_j 는 j 번째 송신기에서 전송된 신호이고, $\mathbf{w}_j \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 j 번째 송신기에서 전송되는 전송 벡터이며, $\mathbf{z}_j \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 j 번째 수신기에서의 가우시안 잡음 벡터로 각 원소는 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 확률 변수이다. 각 송신기는 평균 파워 제약 조건인 $E[|s_j|^2] \leq SNR$ 을 만족한다.

III. 제안된 분산 기회적 스케줄링

본 장에서는 제안하는 분산 기회적 스케줄링 방법 및 송수신 안테나 선택 방법에 대해 설명한다.

1) 송수신 안테나 선택

각 D2D 페어는 각기 하나의 송수신 안테나를 선택한다. 첫 번째 D2D 페어 선택 단계에서는 각 D2D 페어 $s \in \mathcal{U}$ 는 랜덤하게 송수신 안테나를 하나씩 선택하고, $2 \leq k \leq K$ 번째 선택 단계에서는 각 D2D 페어들이 앞선 단계까지 선택된 D2D 페어에 주고 받는 간섭 파워의 합을 최소화 시키는 송수신 안테나를 선택한다.

2) 스케줄링 방법

- $k = 1$ 번째 D2D 페어 선택: 각 D2D 페어 $s \in \mathcal{U}$ 는 송수신 안테나를 각기 랜덤하게 선택한 후, 랜덤 백오프 타임을 생성한다. 생성된 랜덤 백오프 타임이 가장 작은 송신기부터 선택된 안테나 인덱스와 파워렛 신호를 해당 수신기에 전송한다. 수신기는 원하는 채널 파워 크기가 특정 임계치 ϵ_D 보다 큰지 여부를 점검하고, 만약 만족하면 선택된 수신 안테나 인덱스를 파워렛 신호와 함께 브로드캐스팅한다. 해당 신호를 듣는 모든 송신기들은 선택된 안테나 브로드캐스팅을 멈추고, 백오프 타임을 리셋한다.

- $2 \leq k \leq K$ 번째 D2D 페어 선택: 각 D2D 페어 $s \in \mathcal{S}_{k-1}^c$ 는 이전 D2D 페어 선택 단계에서 브로드캐스팅된 송수신 안테나 인덱스 정보 및 채널 정보를 기반으로 앞서 선택된 D2D 페어들과 주고 받는 간섭들의 합이 최소화 되도록 송수신 안테나를 선택한다. 각 송신기 $s \in \mathcal{S}_{k-1}^c$ 는 영향을 미칠 간섭의 크기가 특정 임계값 ϵ_{k-1} 보다 작은지 여부를 체크하고 만약 해당 조건을 만족시키면 미칠 간섭의 크기에 비례하여 백오프 타임을 생성한다. 백오프 타임이 가장 송신기부터 차례로 선택된 안테나 인덱스와 파워렛 신호를 해당 수신기로 전송한다. 해당 수신기는 영향을 받을 간섭의 크기가 특정 임계값 ϵ_{k-1} 보다 작는지와 원하는 신호 채널 파워 크기가 ϵ_D 보다 큰지 여부를 점검하고, 만약 만족되면 선택된 안테나 인덱스와 함께 파워렛 신호를 브로드캐스팅한다. 해당 신호를 듣는 모든 송신기들은 브로드캐스팅을 멈추고, 백오프 타임을 리셋한다. 이러한 과정을 전체 K 개의 D2D 페어가 선택될때까지 반복한다.

IV. 모의실험 결과

그림 1은 송수신 안테나 수가 $M = 3$ 일때, D2D 페어 수 증가에 따른 제안된 분산 기회적 스케줄링 기법 및 두 개의 기존 벤치마크 스케줄링 기법의 sum rate 성능을 비교한 그림이다. 비교 대상 벤치마크 스케줄링 기법은 다음과 같다.

- SNR-MAX-AS-Schedule: 중앙 집중화된(centralized) 스케줄링 방법으로, 각 D2D 페어는 신호 대비 잡음(SNR)의 크기를 최대화를 위한 송수신 안테나를 선택하고, 기지국은 신호 대비 잡음의 크기를 기준으로 가장 큰 값을 가지는 사용자 K 개를 선택한다.

- DoF-MAX DOS-AS [5]: 분산 기회적 스케줄링 방법으로, 간섭 크기가 일정 임계치 값 아래가 되는 사용자 K 개를 선택하며, 이는 최대 DoF를 달성할 수 있다.

그림 1은 D2D 페어수가 증가할수록, 3가지 스케줄링 기법 모두 최적 D2D 페어 선택 이득에 의해 sum rate이 증가하는 것을 보여준다. 제안된 스케줄링 기법은 다른 2가지 벤치마크 스케줄링 기법보다 더욱 효과적으로 간섭 및 원하는 신호 크기를 제어함으로써, 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 고밀도 다중안테나 D2D 네트워크에서 안테나 선택

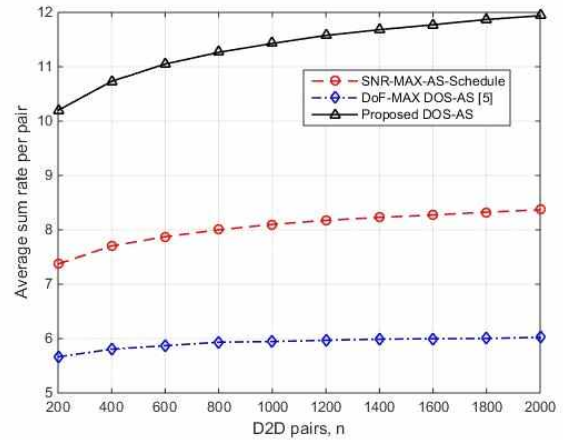


그림 1 D2D 페어수 변화에 따른 제안된 스케줄링 기법과 벤치마크 스케줄링 기법의 sum rate 성능 비교

기반 분산 기회적 스케줄링 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 원하는 신호 크기 및 간섭 크기에 대한 임계값들을 활용하여, K 개의 D2D 페어들을 기회적이고, 순차적이고, 분산적인 방법으로 선택함으로써 복잡도를 상당히 낮출 수 있다. 모의 실험 결과는 제안된 스케줄링 기법이 기존 벤치마크 스케줄링 기법보다 간섭과 원하는 신호의 크기를 더욱 효과적으로 제어함으로써, 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보여준다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)

(No. NRF-2018R1C1B5084577).

참고 문헌

- [1] T. Kim and S. H. Chae, "A channel estimator via non-orthogonal pilot signals for uplink cellular IoT," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 53419–53428, Apr. 2019.
- [2] S. Stefanatos, A. G. Gotsis, and A. Alexiou, "Analytical assessment of coordinated overlay D2D communications," in *Proc. 20th Euro. Wireless Conf.*, pp. 657–662, May 2014.
- [3] Y. Jiang, Q. Liu, F. Zheng, X. Gao, and X. You, "Energy-efficient joint resource allocation and power control for D2D communications," *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 65, no. 8, pp. 6119–6127, Aug. 2016.
- [4] T.-W. Ban and B. C. Jung, "On the link scheduling for cellular-aided device-to-device networks," *IEEE Tran. Veh. Tech.*, vol. 65, no. 11, Nov. 2016.
- [5] S. H. Chae, B. C. Jung, and W. Choi, "Achievable Degrees-of-Freedom of (n,K)-User Interference Channel with Distributed Beamforming," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 3048–3052, Apr. 2015.
- [6] S. H. Chae, B. C. Jung, and W. Choi, "On the achievable degrees-of-freedom by distributed scheduling in (N, K)-user interference channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 6, pp. 2568–2579, Jun. 2013.