

# D2D 네트워크에서의 간섭 기반 다중경로 라우팅 알고리즘

민 경 운\*, 이 수 경°, 김 문 석\*

## Interference Constrained Multi-Path Routing Algorithm in D2D Networks

KyungWoon Min\*, SuKyoung Lee°, MunSuk Kim\*

### 요 약

신호간섭이 심한 D2D(Device-to-device) 환경에서 통신을 위한 충분한 전송량 확보는 어려움이 있다. 본 논문은 간섭의 영향이 적도록 각 D2D 경로 내의 홉을 결정하는 다중경로 라우팅 알고리즘을 제안한다.

**Key Words** : D2D communication, Multi-hop, Interference, Multipath routing, Throughput

### ABSTRACT

It is difficult to achieve sufficient throughput for communication in high-interference environments. In this paper, we propose a multipath routing algorithm which determines paths of D2D transmission and avoids interference.

### I. 서 론

셀룰러 네트워크에서 통신 자원을 효율적으로 이용하여 통신 용량을 향상시킬 수 있는 기술로 D2D 네트워크에 대한 연구가 진행되면서 D2D 멀티홉(multi-hop) 통신의 경로를 결정하는 라우팅 알고리즘에 대해서도 여러 제안이 이뤄지고 있다. 멀티홉 라우

팅 알고리즘은 통신 지연시간 및 전송량 성능 향상을 목적으로 제안된다. 현재까지 D2D 멀티홉 통신 환경에서 간섭의 영향을 최소화하는 다수의 라우팅 알고리즘이 제안되었다<sup>[1][2]</sup>. 그러나 기존연구들은 도심과 같이 단말들이 밀집된 환경에서 광범위한 단말간의 간섭으로 인해 실제 간섭을 정확히 예측하기 어렵다. 따라서 기존연구의 알고리즘을 통해서는 단말 사이의 D2D 통신을 위한 충분한 전송량과 연결 안정성을 확보하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 단말간의 신호간섭을 고려하여 다수의 부반송파를 동시에 사용하는 D2D 다중 경로 라우팅 알고리즘을 제안한다.

### II. 간섭 기반 D2D 다중경로 라우팅 알고리즘

#### 2.1 시스템 모델

단일 셀 환경에서 셀룰러 사용자와 D2D 단말이 셀룰러 상향링크 자원을 공유하는 시나리오를 가정한다. 기지국(base station)은 셀 내의 모든 셀룰러 사용자와 D2D 단말들 사이의 상향링크 자원 할당정보와 거리 정보를 관리한다<sup>[3]</sup>. 수집된 정보를 기반으로 기지국은 셀룰러 사용자와 D2D 단말들 사이의 간섭과 D2D 단말들 상호간의 간섭을 고려하여 D2D 단말들의 효율적 통신을 위한 셀룰러 상향링크 자원 할당 및 멀티홉 기반 다중경로 라우팅을 결정한다.

#### 2.2 제안 알고리즘

##### 2.2.1 D2D 경로 별 셀룰러 자원 할당

셀룰러 상향링크 자원은 다수의 부반송파로 구성되어 있고, 시작 단말과 목적 단말 사이의 D2D 경로 별로 하나의 부반송파를 할당한다고 가정한다. 한 D2D 경로 내의 수신 단말들은 같은 부반송파를 할당받은 주변의 셀룰러 사용자 또는 D2D 단말들로 부터 신호 간섭 영향을 받는다. 제안한 알고리즘은 D2D 경로 별로 신호간섭이 가장 적을 부반송파를 예측하여 할당한다. 이를 위해,  $M_s$ 는 부반송파  $r$ 를 이용하는 주변 셀룰러 사용자와 D2D 단말들의 집합으로 정의한다. 이때, 목적 단말  $\beta$ 에서 측정될 수 있는 부반송파  $r$ 에

\* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2018-2014-1-00729).

• First Author : (ORCID:0000-0002-2078-9251)Yonsei University Department of Computer Science College of Engineering, kw1min@yonsei.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Yonsei University Department of Computer Science College of Engineering, sklee@yonsei.ac.kr, 종신회원

\* National Institute of Standards and Technology, munsuk.kim@nist.gov

논문번호 : 201807-226-B-LU, Received July 24, 2018; Revised September 10, 2018; Accepted September 10, 2018

대한 최대 간섭신호 세기  $E_{r,\beta}$ 는 다음과 같다.

$$E_{r,\beta} = \sum_{m \in M_r} AP_m d_{\beta,m}^\eta \quad (1)$$

위 식에서  $P_m$ 은 단말  $m$ 이 송출하는 신호의 세기,  $d_{\beta,m}$ 은 목적 단말  $\beta$ 와 단말  $m$  간의 거리,  $A$ 는 경로 손실 상수, 그리고  $\eta$ 는 경로 손실 지수이다.

식 (1)을 이용해 해당 D2D 경로에 할당할 부반송파  $l$ 는 다음과 같이 결정한다.

$$l = \arg \min_{r \in R} E_{r,\beta} \quad (2)$$

위 식에서  $R$ 은 이용 가능한 부반송파의 집합이다.

### 2.2.2 D2D 단말 사이의 전송량 예측

두 D2D 단말  $i, j$  사이의 홉(hop)에서 수신 단말  $j$ 에서 측정되는 송신 단말의  $i$ 의 신호세기는  $AP_i d_{i,j}^\eta$ 이다. 이 홉에 부반송파  $l$ 이 할당 되었을 때, 수신 단말  $j$ 에서 측정되는 최대 간섭신호 세기는 식 (1)을 통해 얻을 수 있는  $E_{l,j}$ 이다. 이때, 이 홉에서 보장하는 최대 전송량은 다음과 같다.

$$R_{i,j} = B \log \left( 1 + \frac{AP_i d_{i,j}^\eta}{N_0 + E_{l,j}} \right) \quad (3)$$

위 식에서  $B$ 는 사용될 부반송파의 대역폭이고  $N_0$ 는 백색 잡음이다.

### 2.2.3 제안한 다중경로 라우팅 알고리즘

시작 단말과 목적 단말 사이에 시작 단말의 요구 전송량을 만족 시키는 다수의 D2D 경로를 결정한다. 이를 위해, 제안한 알고리즘은 신호간섭이 적도록 각 D2D 경로에 부반송파를 할당 및 각 경로의 홉들을 구성한다.  $R_\alpha$ 는 시작 단말의 요구 전송량으로 정의한다. 이때, 시작단말  $\alpha$ 과 목적 단말  $\beta$ 사이의 다중경로 설정을 위해 다음의 과정을 수행한다. D2D 경로를 구성할 홉들은 각각 한 쌍의 송신단말과 수신단말로 구성된다. 또한 송신단말  $i$ 는 시작단말  $\alpha$ , 요구 전송량  $R_{th}$ 는  $R_\alpha$ , 경로 정보  $P$ 는 공집합을 초기 값으로, 현재의 송신단말  $i$ 에서 결정된 모든 수신 단말들로의 전송량의 합  $R_i$ 는 0를 초기 값으로 가진다.

i) 현재의 송신단말  $i$ 에서 사용할 부반송파를 식 (2)

를 통해 설정한다. 만약, 할당할 부반송파가 존재하지 않는 경우 알고리즘을 종료한다.

- ii) 현재의 송신단말  $i$ 가  $\beta$ 와 동일한 단말일 경우, 경로  $P$ 를 사용 경로로 확정하고 알고리즘을 종료한다. 또는 목적 단말로의 예측 전송량이  $R_\alpha$  이상인 경우 재귀 호출을 포함한 모든 알고리즘을 종료한다.
- iii) 송신단말  $i$ 은 (3)의 식을 이용해 다음과 같이 수신단말  $j$ 을 결정한다.

$$j = \underset{u \in \Pi}{\operatorname{argmax}} R_{u,\beta} \quad (4)$$

위 식에서  $\Pi$ 는 단말  $i$ 의 신호를 수신 가능한 모든 후보 단말들의 집합이다.  $\Pi$ 는 단말  $i$ 부터의 SNR (Signal-to-noise ratio) 예측 값이 일정 기준 이상으로 측정되는 모든 단말들을 포함한다. 하지만, 이미 해당 경로에 포함된 단말들과 이미 지정된 수 이상의 경로를 포함한 단말들은 후보에서 제외한다.

- iv) 위의 iii) 과정에서  $\Pi = \emptyset$ 인 경우 ii)의 과정으로 돌아간다.
- v) 경로정보  $P$ 에서 현재의 송신단말, 수신단말, 부반송파의 정보가 추가된 것을 경로정보  $P'$ 라 하자.  $R_i$ 에  $R_{i,j}$ 를 더해준다.  $R_i$ 에 대해서  $R_i < R_{th}$ 인 경우, 제안 알고리즘을 재귀 호출한다. 이 때 요구 전송량은  $R_{i,j}$ , 시작단말은  $j$ , 경로 정보는  $P'$ 로 설정한다. 이후 ii)의 과정으로 돌아간다.  $R_i \geq R_{th}$ 인 경우엔 알고리즘을 종료한다.

시작 단말과 목적 단말 사이의 D2D 경로의 수는 일정 수를 넘지 않도록 제한한다. 과정 iv)의 수신 단말 결정은 MR-DA (Maximum rate towards destination advanced) 알고리즘<sup>[1]</sup>을 참고하였다. 수신 단말  $j$ 와 목적 단말  $\beta$  사이의 전송량  $R_{j,\beta}$ 가 클수록 단말  $j$ 는 위치상으로 목적 단말에 가깝고 신호간섭도 적기 때문에<sup>[1]</sup>, 각 D2D 경로는 효율적으로 시작 단말의 요구 전송량 만족을 위한 홉을 구성할 수 있다.

## III. 시뮬레이션 결과

다양한 D2D 다중경로 라우팅 알고리즘이 QoS (Quality of Service)의 향상을 위해 제안되었고<sup>[4]</sup>, 본 논문은 그 중에서 최근에 제안된 M-dijkstra 알고리

즘<sup>[5]</sup>과 제안한 알고리즘의 전송량 성능을 비교하였다. 실험은 C++을 이용하여 자체 작성한 모의 환경에서 진행하였다. 단말들 사이의 동시 신호전송에 의해 발생하는 간섭만을 고려하였고, 전방향성 안테나를 이용하는 기지국이 존재하는 반경 500m의 단일 셀 환경을 가정하였다. 셀룰러 상향링크는 OFDMA(Orthogonal frequency division multiple access)로 이루어짐을 가정하였고 총 10개의 부반송파로 구성하였다. 각 부반송파의 대역폭은 2MHz이다. D2D 단말의 총 개수는 50이다. 각 단말은 23dBm의 송신 신호세기를 가지고, 한 홉에서 D2D 통신에 필요한 최소 SNR은 12dB이다. 시작 단말과 목적 단말의 거리는 500m로 고정하였고, 그 외의 단말들은 셀 범위 내에 균등분포로 랜덤하게 배치하였다. 다양한 간섭 신호세기에 대한 전송량 성능 측정을 위해, 각 부반송파 마다 평균  $m$ 개의 단말을 임의로 선택하여 전 방위로 끊임없이 신호를 발생시키도록 하였다. 변수  $m$ 의 값의 범위는 [0.8, 3.2]이다. 그 밖에도, 경로 손실지수  $\eta$ 는 3, 시작 단말의 요구 전송량  $R_a$ 는 10Mbps, 한 단말 당 최대 이용 경로 수는 3로 결정 하였고, 시작 단말과 목적 단말 사이의 최대 경로 수는 10개로 제한하였다. M-dijkstra 알고리즘 역시 총 10개의 경로를 생성하도록 하였다.

시작 단말과 목적 단말 사이의 평균 전송량 실험 결과는 그림 1과 같다. 제안 알고리즘이 M-dijkstra 알고리즘에 비하여 간섭원이 둘 이상인 경우에도 평균 2.3배 향상된 수치를 보였다. 이는 M-dijkstra과 달리 제안한 알고리즘은 각 경로에 포함되는 수신 단말을 결정 할 때 목적 단말과의 거리 뿐 아니라 주변 D2D 단말로 부터의 간섭을 고려하기 때문이다. 또한, 간섭이 적은 서로 다른 부반송파를 할당한 다수의 경로를

동시에 이용함으로써 기존의 MR-DA 알고리즘보다 향상된 결과를 보였다. 하지만, 그림 1에서 제안한 알고리즘이  $m$ 값이 증가함에 따라 간섭의 영향으로 전송량 감소의 정도가 큰 것을 확인 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에선 다수의 부반송파를 동시에 이용하는 다중경로 D2D 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통하여 제안 알고리즘이 전송량 성능 면에서 높은 수치를 보임을 확인하였다. 이는 간섭이 적은 부반송파를 각 경로에 할당하고 간섭의 영향이 적은 단말로 각 경로의 홉을 결정했기 때문으로 보인다.

#### References

- [1] Q. Du, H. Song, Q. Xu, P. Ren, and L. Sun, "Interference-controlled D2D routing aided by knowledge extraction at cellular infrastructure towards ubiquitous CPS," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 19, no. 7, pp. 1033-1043, Oct. 2015.
- [2] H. M. Heo, J. H. Hwang, and M. S. Yoo, "Interference-free multipath routing protocol for M2M wireless network to enhance packet delay performance," *J. KICS*, vol. 35, no. 12, pp. 1859-1866, Dec. 2010.
- [3] M. N. Tehrani, M. Uysal and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 86-92, May 2014.
- [4] M. Z. Hasan, H. Al-Rizzo, and F. Al-Turjman, "A survey on multipath routing protocols for QoS assurances in real-time wireless multimedia sensor networks," *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 19, no. 3, pp. 1424-1456, Jan. 2017.
- [5] Y. Sun, J. Sun, F. Zhao, and Z. Hu, "Delay constraint multipath routing for wireless multimedia ad hoc networks," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 29, pp. 210-225, Jan. 2016.

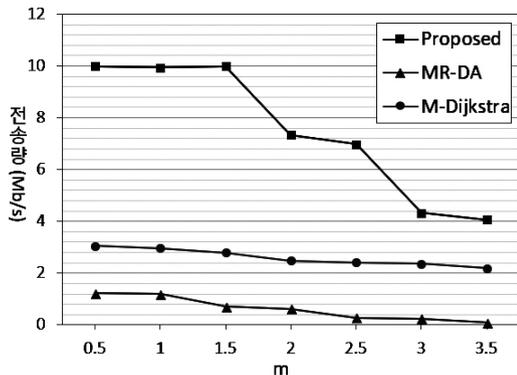


그림 1. 최대 전송량 비교  
Fig. 1. Maximum throughput comparison