

LTE-Advanced 환경에서 D2D 자원 할당 알고리즘의 계산 복잡도 개선

이 한 나*, 김 향 미*, 김 상 경^o

Improvement of Computational Complexity of Device-to-Device (D2D) Resource Allocation Algorithm in LTE-Advanced Networks

Lee Han Na*, Hyang-Mi Kim*, SangKyung Kim^o

요 약

LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신은 기지국의 부하를 감소시켜줄 뿐만 아니라 네트워크 성능을 향상시키는 통신 기술이다. 그러나 이 기술은 셀룰러 사용자와 D2D 페어들간에 자원을 공유함으로써 많은 양의 간섭이 발생할 수 있는 문제점이 있으므로 D2D 통신의 자원 할당 시 간섭에 의한 영향이 고려되어야 함에도 불구하고, 기존 자원 할당 관련 기존 연구는 셀룰러 사용자에게 기할당된 자원 중 최고의 CQI 값을 가지는 자원을 재사용하여 D2D 페어에 할당한다. 이로 인해 D2D 페어와 셀룰러 통신이 같은 자원을 공유하기 때문에 D2D 페어는 주 통신인 셀룰러 통신에 간섭을 야기하며, 기할당된 셀룰러 자원의 재사용으로 인해 계산 복잡도가 높아지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 셀 내 간섭을 제거하면서 계산 복잡도가 낮은 D2D 자원 할당 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 전체 자원 중 미사용 중인 자원을 임의로 선택하여 할당하고, 할당 받은 자원을 D2D 페어들간에 공유하게 한다. 즉 D2D 페어들 간 간섭이 발생하지 않는다면, 해당 페어들 간에는 같은 자원을 사용하도록 허용한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 비교 알고리즘에 비해 제안 알고리즘이 수용하는 D2D 페어의 개수에 비례하여 최대 11배까지 계산 복잡도가 낮아지는 것을 확인하였다.

Key Words : D2D communication, Resource Allocation, OFDMA, Computational, Complexity, LTE-Advanced

ABSTRACT

D2D communication as an underlying LTE-Advanced network has proven to be efficient in improving the network performance and decreasing the traffic load of eNodeB(enhanced NodeB). However large amount of interference can be caused by sharing the resources between the cellular users and D2D pairs. So, a resource allocation for D2D communication to coordinate the interference is necessary. Related works for resource allocation that D2D can reuse the resources of more than one cellular user with best CQI(Channel Quality Indicator) have been proposed. D2D communications may still cause interference to the primary cellular network when radio resource are shared between them. To avoid this problem, we propose a radio resource allocation algorithm with low computational complexity for D2D communication in OFDM-based wireless cellular networks.

* First Author : Gangneung-Wonju National University, hanna@gwnu.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Gangneung-Wonju National University, skkim98@gwnu.ac.kr, 중신회원

* Gangneung-Wonju National University, hmkim@gwnu.ac.kr

논문번호 : KICS2014-12-475, Received December 2, 2014; Revised March 7, 2015; Accepted April 10, 2015

Unlike the previous works, the proposed algorithm utilizes unused ones of the whole resource. The unused resource allocate to on D2D pair can be shared only with other D2D pairs. In other words, if the distance between the D2D pairs is sufficient, we allowed more than two D2D pairs to share the same resources. The simulation results have proven that the proposed algorithm has up to 11 times lower computational complexity than the compared one according to the number of D2D.

I. 서 론

3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 LTE-Advanced release 12 표준 기술의 하나로 LTE Prose (Proximity-based Service)라 불리는 D2D 통신 기술에 대해 논의하고 있다¹⁻³. D2D 통신 기술은 기지국의 인프라를 거치지 않는 단말 간 직접 통신으로 기지국의 부하 분산, 단말의 낮은 전력 소모, 낮은 전송 지연과 주파수 이용 효율성 증대라는 장점이 있다⁴. 하지만 이를 LTE-A 네트워크에 적용하기 위해서는 몇 가지 제약사항이 존재한다. 첫째, D2D 페어와 셀룰러 링크가 자원을 공유하므로 발생하는 간섭 문제이다. LTE-A 네트워크에서 사용하는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식은 셀 내의 서로 다른 사용자들 간 직교성을 제공하여 간섭은 존재하지 않는다. 따라서 셀룰러 링크가 D2D 페어와 자원을 공유하더라도 그로인해 간섭의 영향을 받아서는 안 된다. 둘째, D2D 페어에 하향 링크 자원을 사용하면 자원 이용 효율성은 높일 수 있지만, 기지국으로부터 강한 간섭의 원인이 되므로 간섭 제어에 더 어려움이 있을 수 있다. 그러므로 D2D 페어는 상향 링크 자원으로 할당해야 한다. 셋째, 상향 링크 자원 할당은 1ms 마다 셀 내 전송 단말을 결정하고, 결정된 단말에 주파수 자원을 할당한다. 짧은 시간에 자원 할당이 이루어져야 하므로 D2D 자원 할당을 위한 계산 복잡도가 높아서는 안 된다.

D2D 페어에 자원을 할당하위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 기지국은 셀룰러 통신을 위한 자원과 D2D 통신을 위한 자원을 고정대역으로 나누어 D2D 페어에 자원을 할당할 수 있다. 이 방식은 D2D 통신에는 안정적으로 자원을 할당해 줄 수 있지만, D2D 통신을 하고자 하는 페어의 수가 적다면 자원의 낭비를 초래할 수 있다⁶. 이러한 문제를 해결하기 위해서 기할당된 셀룰러 자원을 재사용하는 방법이 제안되었다⁷⁻¹². 즉 D2D 페어가 공간적으로 떨어져서 간섭의 영향권에 존재하지 않는다면 셀룰러 단말이 사용 중인 자원을 공유하는 방법들이다. 그러나 이와 같은 방법은 자원의 이용 효율성은 높일 수 있으나 기지국이 셀 내에

수용 중인 많은 셀룰러 자원들과 비교하여 D2D 페어에 할당할 최적의 자원을 선택하기 위한 계산의 복잡도가 높아지는 문제점이 있으며 기지국의 부하 부담을 야기하는 문제점이 있다. 그 외 셀 내 및 셀 간 간섭을 완화 시키는 D2D 자원 할당 연구^{13,14}가 진행되었지만, 이들 연구에서는 자원 할당에 소요되는 시간 및 D2D 페어들간 간섭은 고려되지 않았다.

본 논문에서는 기지국이 셀 내의 미사용 중인 잔여 자원을 임의로 선택한 후 통신을 원하는 D2D 페어에 할당한다. 이때 D2D 페어들간 동일한 자원을 할당해도 상호 간섭이 없는지 확인하는 과정을 거친 후 간섭이 없는 D2D 페어들만 자원을 할당한다. 간섭이 발생하여 통신이 불가능한 D2D 페어들에 대해서는 추가적인 잔여자원을 할당하기 위한 과정을 수행한다. 기존 연구에서는 자원 재사용을 위해 셀룰러 단말의 기할당된 수많은 자원을 D2D 페어에 할당 가능한지 확인하는 과정을 수행함에 따라 높은 계산복잡도가 발생하였다. 그러나 제안 알고리즘은 셀 내의 미사용 잔여 자원으로 동일한 자원을 할당 받는 D2D 페어들간의 간섭만 고려하여 자원을 할당함으로써 계산 복잡도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 셀 내 간섭을 제거할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 D2D 자원 할당 방법에 대해 자세히 소개한다. 3장에서는 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 하고, 마지막 4장에서 결론 및 향후 연구 과제를 기술한다.

II. D2D 통신을 위한 자원 할당 알고리즘

2.1 시스템 모델

LTE-A 네트워크 단일 셀 내에는 N 개의 셀룰러 단말이 존재한다. 이 셀룰러 단말들 간에 D2D 통신을 하고자 하는 페어가 존재할 경우, 셀 내에서 기지국이 수용할 수 있는 D2D 페어들의 수는 K 개이다. 그림 1은 단일 셀에서 셀룰러 단말들 간에 D2D 통신 환경을 나타낸다.

셀룰러 단말인 c_2 와 c_3 가 직접 통신하기를 원하고, 거리상 가까운 위치에 존재한다면 D2D 페어 설정을

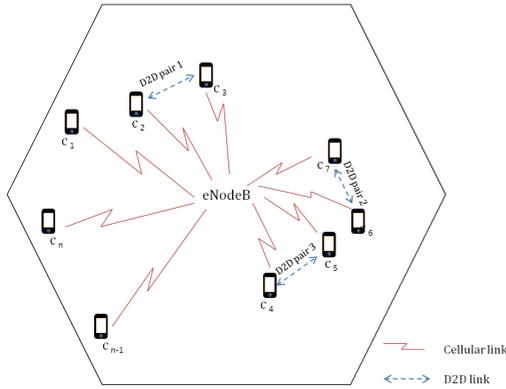


그림 1. D2D 통신 환경
Fig. 1. D2D communication environment

한다. 이때, 기지국은 D2D 페어에 자원 할당을 한다. D2D 페어의 연결 요청이 기지국에 전달되면, 셀 내의 자원 중 미사용 자원을 임의로 선택하여 자원을 할당한다. D2D 페어들간 간섭이 발생하지 않는다면 동일한 자원을 중복하여 할당한다. 그러나 간섭이 발생한다면, 미사용중인 자원 중 추가로 임의 선택하여 할당한다. 그림의 D2D_{pair1} 과 D2D_{pair2} 는 공간적 위치가 충분히 떨어져 있다. 이 경우 간섭의 영향을 받지 않으므로 동일한 자원을 할당할 수 있다. 만일 D2D_{pair3} 과 D2D_{pair2} 는 거리상 가까운 위치에 존재한다. 이들 간에 동일한 자원을 사용할 경우 극심한 간섭이 발생한다.

본 논문에서는 상향링크 자원만을 할당하며, 셀 내 미사용 중인 자원이 있는 통신 환경을 가정한다.

2.2 제안하는 자원 할당 알고리즘

제안하는 자원 할당 방식의 경로 손실 모델은 Hata 모델의 도심환경을 사용한다^[13,15,16]. Okumura 모델은 도심 환경에서 신호 예측을 위하여 가장 널리 이용되는 경로 손실 모델 중의 하나이며, Hata 모델의 바탕이 된 모델이다.

(식 1)은 LTE-A 네트워크에서 상향링크를 사용할 경우 D2D 단말의 신호 대 간섭 및 잡음비 (SINR, Signal-to-Interference plus Noise Ratio)을 나타낸 식이고, (식 2)는 D2D 페어들 간에 통신을 위한 최소 SINR 값을 나타낸다.

$$\gamma_{d2d} = \frac{P_{d2d} * G_{d2d}}{N_0 + I + \sum y_{d2d}^{min} P_x * G_{x,d2d}} \tag{1}$$

$$P_{d2d} * G_{d2d} > \gamma_{rb}^{tgt} (N_0 + I + \sum y_{d2d}^{min} P_x * G_{x,d2d}) \tag{2}$$

(식 1)은 일반적으로 사용하는 SINR 수식에서 도출하였다. d2d는 D2D 단말, x는 간섭을 주는 D2D 단말을 의미하고, N₀은 수신기 잡음, I는 간섭 값을 나타낸다. 일반적으로 잡음은 예측 불가능하지만 간섭은 예측 가능하다. 잡음은 Hata 모델의 수치를 따르고, 간섭은 D2D 페어들 간의 간섭을 식에 추가하여 사용한다. P_{d2d}는 D2D 송신기 단말의 송신전력이고, G_{d2d}는 D2D 송수신기들 사이의 채널 이득(channel gain)을 나타낸다. y_{d2d}^{min}는 특정 D2D 단말에 간섭을 주는 다른 D2D 단말이 존재할 경우, y_{d2d}^{min} = 1을 만족하는 이진 변수이다. P_x는 D2D 페어에 간섭을 주는 단말의 송신전력이고, G_{x,d2d}는 특정 D2D 페어와 간섭 단말 간의 채널 이득 값을 뜻한다. (식 2)의 우변 괄호 세번 째 항은 동일한 자원을 사용하는 D2D페어들 간의 간섭을 고려하기 위해 추가되었다. (식 2)는 D2D 페어의 신호세기가 정의된 SINR 보다 낮다면 D2D 통신을 할 수 없음을 나타낸다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 자원 할당 알고리즘을 나타낸다. 앞서 설명한 식들을 이용하여 기지국은 D2D 페어에 대한 할당할 자원을 결정한다.

알고리즘은 기지국이 D2D 페어에 자원을 모두 할당하였거나 기지국의 사용할 수 있는 자원이 없을 때까지 반복한다(line 2). 기지국은 할당되지 않은 잔여

```

1 begin
2 while D2D ≠ ∅ or available_eNodeBrb == 0 do
3 randomly pick selection_RB with available_eNodeBrb
4 for D2D = 1 : K
5      $\gamma_{d2d} \leftarrow \frac{P_{d2d} * G_{d2d}}{N_0 + I + \sum y_{d2d}^{min} P_x G_{x,d2d}}$ 
6     if  $\gamma_{d2d} \geq \gamma_{rb}^{tgt} (N_0 + I + \sum y_{d2d}^{min} P_x * G_{x,d2d})$  then
7         Do assign selection_RB to d2d link
8         D2D = D2D - {d2d}
9     else
10        Interferenced2d = Interferenced2d + {d2d}
11    end
12 end
13 while Interferenced2d == 0 do
14    randomly pick selection_RB with available_eNodeBrb
15    if  $\gamma_{d2d} \geq \gamma_{rb}^{tgt}$  then
16        Do assign selection_RB to d2d link
17        D2D = D2D - {d2d}
18        Interferenced2d = Interferenced2d - {d2d}
19    end
20 end
21 end
    
```

그림 2. 제안하는 자원 할당알고리즘
Fig. 2. Proposed resource allocation algorithm

자원 중 하나를 임의로 선택한다(line 3). 선택된 자원이 D2D 페어에 할당 가능한 지에 대해 (식 1)을 이용하여 확인한다(line 5). 이를 통해 선택된 자원을 페어에 할당하였을 때 D2D 페어들 간의 신호세기를 측정할 수 있다. (식 1)에 따라 계산된 신호세기가 (식 2)에서 정의된 SINR보다 높다면 D2D 통신이 가능하므로 기지국이 선택한 자원을 해당 D2D 페어에 할당한다. 만일 정의된 SINR 보다 낮다면 통신이 불가능하므로 새로운 $Interference_{D2D}$ 그룹에 포함시킨다. 이 작업은 기지국이 할당해야 할 D2D 페어를 상대로 모두 반복해서 진행한다(line 4~12). 알고리즘의 line 4~12 실행으로 다수의 D2D 페어들에 자원이 할당되었다면, 해당 D2D 페어들은 같은 자원을 공유한 것을 의미한다. 자원 할당을 받지 못한 D2D 페어들의 그룹인 $Interference_{D2D}$ 는 line 13~19의 과정을 반복 적용하여 자원을 할당받는다.

III. 성능평가

본 장에서는 제안 알고리즘의 성능을 분석하고 검증한 시뮬레이션 결과를 기술한다. 시뮬레이션은 MATLAB을 사용하였고, 시뮬레이션 환경은 표 1과 같다^[6].

제안 알고리즘은 'Greedy heuristic RB selection algorithm'^[9]과 비교 분석하였다. 이 알고리즘은 이미 할당된 셀룰러 자원 중 가장 높은 CQI(Channel Quality Indicator)를 선택하여 이를 D2D 페어에 할당하는 방식이다. CQI는 단말이 자신이 위치한 장소에서 무선 채널 품질을 측정하여 기지국에 전송하고 기지국에서는 이를 기반으로 변조 방식이나 코드 수 등을 관리하는 스케줄러의 기본 정보로 사용한다.

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation environment

Parameter	Value
Cell radius	500m
Spectrum allocation	20MHz
Number of available Resource Block	110
Number of Cellular Users	100
Minimum distance between D2D pairs in a pair	10m
Maximum distance between D2D pairs in a pair	50m
Transmission power of Cellular Users	24dBm
Transmission power of D2D users	8dBm
Distribution of D2D users	random
Noise density	-174dBm/Hz

(식 3)은 비교 논문에서 자원을 할당하기 위해 기지국이 셀룰러에 할당된 자원을 D2D 페어가 공유해도 되는지 비교한 연산의 수를 나타낸다. 식에서 τ_n^{RB} 는 기지국이 셀룰러 단말에 할당된 n개의 자원, k는 D2D 페어의 개수를 의미한다. (식 4)는 D2D 페어에 자원을 할당할 때 D2D 페어 간 비교 연산의 수를 나타내며, 제안 알고리즘의 자원을 할당할 때 발생하는 계산 복잡도를 나타낸다.

$$({}_k C_1 + {}_k C_2 + {}_k C_3 + \dots + {}_k C_k) * \tau_n^{RB} \quad (3)$$

$${}_k C_1 + {}_k C_2 + {}_k C_3 + \dots + {}_k C_k \quad (4)$$

기존 연구에서는 셀룰러 단말에 할당된 자원을 D2D 페어에 자원을 할당하는 방식이기 때문에 많은 셀룰러 단말에 할당된 자원들을 대상으로 비교함으로써 비교 연산의 수가 매우 큰 폭으로 증가한다. 그림 3에서와 같이 D2D 페어의 수가 10개일 경우 셀룰러 링크 자원과 비교한 비교 연산의 수는 D2D 페어들 간에 비교 연산의 수 보다 10배 더 많음을 확인하였다. D2D 페어의 수가 늘어날수록 비교 연산의 수가 급격히 늘어나기 때문에 높은 계산 복잡도를 유발한다.

한편, 본 논문에서 제안한 방식의 경우 D2D 페어들 간에 자원을 공유하며, D2D 페어들 간의 간섭만 고려하여 자원을 할당한다. 기지국은 동일한 자원을 D2D 페어들에게 할당할 경우 간섭이 발생하는 페어들을 선별하고, 선별된 페어들 간에 간섭이 발생하지 않도록 자원을 할당한다. 이 때문에 간섭이 발생하는

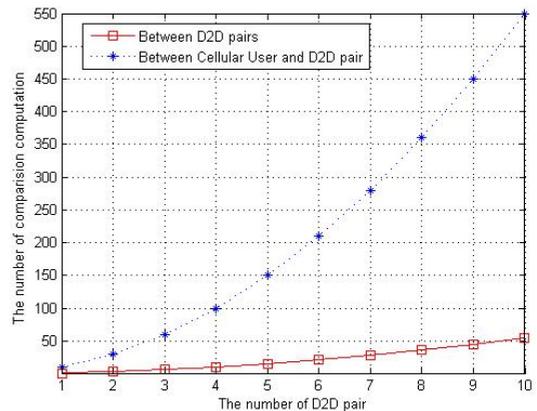


그림 3. "Between D2D pairs" 및 "Between Cellular User and D2D pairs"의 비교 연산의 수
Fig. 3. The number of comparison computation for "Between D2D pairs" and "Between Cellular User and D2D pairs"

D2D 페어들 간에만 자원을 비교하여 할당한다. 이로써 전체 D2D 페어들을 모두 비교하는 것보다 낮은 복잡도를 얻는다. 이는 그림 4의 그래프에서 확인할 수 있다. 그림 4는 D2D 페어의 수에 따른 제안 방식의 비교 연산의 수를 나타낸다. 그림 4는 그림 3의 스케일을 조정하여 그린 것이다. 범례의 ‘Between D2D pairs’는 모든 D2D 페어들 간의 비교 연산의 수를 나타내었고, 이는 그림 3의 범례 ‘Between Cellular User and D2D pairs’보다는 낮은 비교 연산의 수가 발생함을 보였다. D2D 페어 10개를 수용할 경우 비교 알고리즘은 제안 알고리즘에 비해 11배 높은 비교 연산의 수가 발생하였다. 이는 계산 복잡도가 높음을 의미한다. 그러나 제안 기법은 D2D 페어들 간에 모두 비교하는 것이 아니라 간섭이 발생하는 D2D 페어들 간에만 비교를 하였기 때문에 비교 연산의 수가 낮게 발생하였다.

그림 5는 기지국이 D2D 페어를 수용함에 따라 할당하는 자원의 수를 나타낸다. 기존 자원 할당 방식은 할당된 셀룰러 링크 자원을 D2D 페어에 공유하는 방식이었다. 본 논문에서의 제안 방식과 비교 알고리즘의 자원 이용률을 확인해 보았다. 단말을 수용함에 있어서 사용되는 자원의 수가 적을수록 자원 이용률이 높게 된다. 만일 동일한 자원이 주어졌을 때 보다 많은 단말을 수용한다면 이는 자원 이용률이 높다는 것을 뜻한다.

그림 5에서 제안 알고리즘은 자원 이용률 측면에서는 비교 알고리즘에 비해 낮은 이용률을 나타내었다. D2D 페어의 수가 5개일 때는 2%의 낮은 이용률 그리고 페어의 수가 25개일 때는 5%의 낮은 이용률을

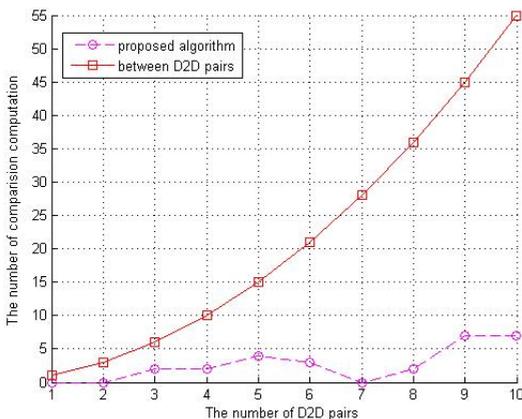


그림 4. “Between D2D pairs” 및 “proposed algorithm”의 비교 연산의 수
Fig. 4. The number of comparison computation for “Between D2D pairs” and “proposed algorithm”

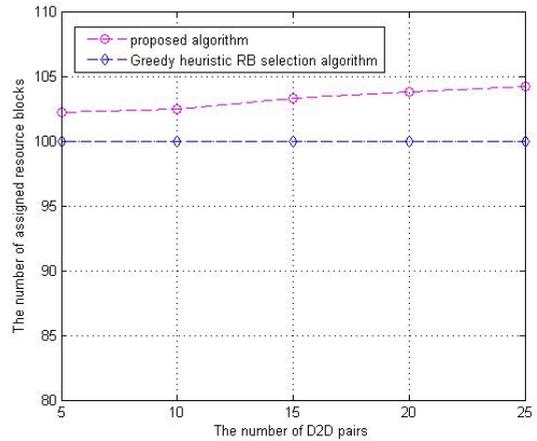


그림 5. D2D 페어에 할당된 자원의 수
Fig. 5. The number of assigned RBs(Resource Blocks)

보였다. 제안 방식의 경우 전체 자원 중 미사용 자원을 사용하였기 때문에 비교 알고리즘에 비해 낮은 자원 이용률을 보였다. 비교 알고리즘의 경우 전체 자원 중 사용 중인 자원을 재사용함으로써 자원 이용률은 높았으나 여전히 간섭 문제가 잔재하였다. 이는 그림 6에서 확인할 수 있다.

그림 6은 간섭을 받는 단말의 수를 나타낸다. D2D 페어의 수가 10일 때는 0.6개, 15일 때는 약 1개 그리고 20개일 때는 1.2개의 단말이 간섭을 받았다. 반면, 제안하는 알고리즘은 전체 자원 중에 잔여 자원을 사용함으로써 셀 내에 간섭을 받지 않는다.

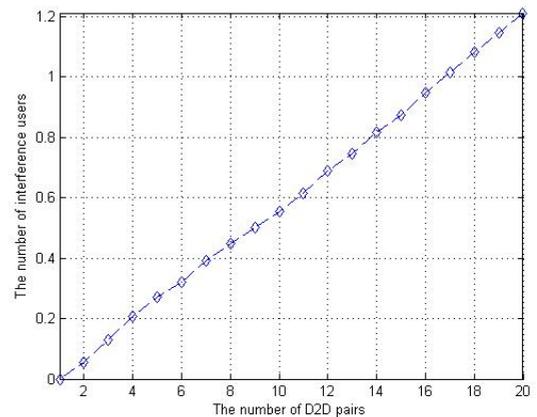


그림 6. 간섭을 받는 단말의 수
Fig. 6. The number of user receive interference

IV. 결 론

본 논문에서는 셀 내 전체 자원 중 미사용 잔여 자

원을 임의로 선택하여 다수의 D2D 페어에 자원을 할당한다. 동일 자원을 사용하기 위해 점검해야 할 대상이 D2D 페어들뿐이므로 기지국이 자원 할당하는데 소요되는 계산 시간을 현저히 낮출 수 있다. 또한 D2D 페어들 간 자원 공유 시 상호 간섭 영향을 고려함으로써 셀 내 간섭을 제거할 수 있다. 그러나 자원 이용률 측면에서 제안 알고리즘이 전체 자원 중 미사용 중인 자원을 사용했기 때문에 비교 알고리즘에 비해 낮은 성능을 나타낸다.

향후 LTE-A 환경에서의 다중 셀 간 간섭 완화를 위한 D2D 자원 할당 기술을 연구할 계획이다. 인접 셀 간의 정보교환을 통해 재사용 가능한 자원을 셀 경계지역의 D2D 페어에 할당함으로써 셀 간 간섭 완화뿐만 아니라 자원 이용률을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] 3GPP TR 23.703, *Study on architecture enhancements to support proximity services (ProSe)*, vol. 4.1, Jun. 2013.
- [2] 3GPP TR 36.843, *Study on LTE device to device proximity services*, vol. 1.0, Apr. 2013.
- [3] M. Meibergen, "Device-to-device communications underlying a cellular network," *Delft University of Technol.*, pp. 1-117, Jan. 2011.
- [4] Y. J. Hwang, K. W. Sung, and S.-L. Kim, "Feasibility of massive device-to-device communications in cellular networks," *J. KICS*, vol. 37A, no. 12, pp. 1091-1101, Dec. 2012.
- [5] H.-M. Kim, H.-N. Lee, and S. Kim, "Specific device discovery method for D2D communication as an underlay to LTE-Advanced networks," *J. KITS*, vol. 13, no. 1, pp.125-134, Mar. 2014.
- [6] C.-H. Chien, Y.-C. Chen, and H.-Y. Hsieh, "Exploiting spatial reuse gain through joint mode selection and resource allocation for underlay device-to-device communications," *Wirel. Personal Multimedia Commun. (WPMP)*, pp. 24-27, Taipei, Taiwan, Sept. 2012.
- [7] H. Sun, M. SHENG, X. Wang, Y. Zhang, J. Liu, and K. Wang, "Resource allocation for maximizing the device-to-device communications underlying LTE-advanced networks," *IEEE/CIC Int. conf. Commun. in China-Workshops (CIC/ICCC)*, pp. 60-64, Xi'an, China, Aug. 2013.
- [8] T. Kim, S. Lee, S. Chhorn, and C. Cho, "Resource allocation and power control scheme for interference avoidance in LTE-Advanced device-to-device communication," *2012 7th Int. Conf. Computing and Convergence Technol. (ICCCT)*, pp. 1201-1204, Seoul, Korea, Dec. 2012.
- [9] Z. Mohammad, H. Changcheng, and S. Anand, "Efficient resource allocation for device-to-device communication underlying LTE network," in *IEEE 6th Int. Conf. Wirel. and Mob. Comput., Netw. and Commun. (WiMob)*, pp. 368-375, Niagara Falls, Ontario, Oct. 2010.
- [10] R. An, J. Sun, S. Zhao, and S. Shao, "Resource allocation scheme for device-to-device communication underlying LTE downlink network," *2012 Int. Conf. Wirel. Commun. & Signal Process. (WCSP)*, pp. 1-5, Seoul, Korea, Oct. 2012.
- [11] Y. Tao, J. Sun, and S. Shao, "Radio resource allocation based on greedy algorithm and successive interference cancellation in device-to-device(D2D) communication," *IET Int. Conf. Inf. and Commun. Technol. (IETICT 2013)*, pp. 452-458, Beijing, China, Apr. 2013.
- [12] J.-E. Kim and N.-M. Kim, "A device-to-device sharing-resource allocation scheme based on adaptive group-wise subset reuse in OFDMA cellular network," *J. IEIE*, vol. 47, no. 7, pp. 72-79, Jul. 2010.
- [13] G.-M. Kang and O.-S. Shin, "Resource allocation scheme based on spectrum sensing for device-to-device communications underlying cellular networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 10, pp. 898-907, Oct. 2013.
- [14] S.-M. Oh, C. Lee, M. Yun, J. Shin, and A.-S. Park, "Resource allocation scheme for D2D communications in multi-cell environments," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 601-609, Oct. 2014.

- [15] H.-N. Lee, H.-M. Kim, and S. Kim, "FFFR-based resource allocation mechanism for interference mitigation of D2D communications in LTE-advanced networks," *J. KIPS*, vol 4, no. 1, pp. 5-10, Jan. 2015.
- [16] Y. S. Cho, J. Kim, and W. Y. Yang, *MIMO-OFDM wireless communication with MATLAB*, John Wiley & Sons Inc., 2010.

이 한 나 (Lee Han Na)



2011년 2월 : 강릉원주대학교
컴퓨터공학과 졸업
2013년 2월 : 강릉원주대학교
컴퓨터공학과 석사
2013년 3월~현재 : 강릉원주대
학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Handover, D2D 통신, Wireless Mesh Network

김 향 미 (Hyang-Mi Kim)



1996년 2월 : 충주대학교 정보
통신공학과 졸업
2009년 8월 : 한라대학교 정보
통신공학전공 석사
2010년 3월~현재 : 강릉원주대
학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> D2D 통신, Massive MIMO, 인지무선 통신

김 상 경 (SangKyung Kim)



1985년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 졸업
1987년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 석사
2002년 : 고려대학교 전자공학
과 박사
1987년~1989년 : 삼성전자 주
임연구원

1989년~2004년 : KT 선임연구원(부장)

2004년~현재 : 강릉원주대학교 교수

<관심분야> Wireless Network Protocol, D2D Communications, IoT, Advanced Network Architecture