

D2D 셀룰러 네트워크에서 위치기반 자원할당

강수형*, 서방원*, 김정곤^o

Resource Allocation Based on Location Information in D2D Cellular Networks

Soo-Hyeong Kang*, Bang-Won Seo*, Jeong-Gon Kim^o

요약

최근 스마트폰과 모바일 단말의 수가 증가함으로서 모바일 인터넷 트래픽도 급격하게 증가하였다. D2D(Device to Device)는 급격한 인터넷 트래픽을 해결하기 위한 방법으로 주목받고 있다. D2D는 기지국이 해결해야하는 많은 트래픽 오버헤드를 줄여주고 네트워크 성능을 향상시켜준다. 그러나 D2D는 간섭이 증가하면 증가할수록 효율이 감소하는 문제를 가지고 있다. 이 논문은 업 링크 셀룰러 네트워크 환경에서 자원을 공유할 때 셀룰러의 자원 효율을 높일 수 있는 자원할당 알고리즘을 제안한다. eNB가 모든 단말의 위치를 알고 있을 때 D2D 통신은 위치 정보를 활용하여 자원할당을 한다. 제안된 기법은 D2D의 성능을 보장하기 위해 위치정보를 통하여 셀룰러 단말의 일부를 선택하게 된다. 그리고 선택된 단말만을 이용하여 자원할당을 할 단말을 찾기 시작한다. 시뮬레이션 결과에서는 D2D 성능을 최대한으로 보장하기 위해 단말 선택의 최적 값을 찾아보고 다른 자원할당기법과 비교를 해 보았다.

Key Words : Uplink, D2D, Location Information, Resource Allocation, Cellular Networks

ABSTRACT

Recently, mobile internet traffic has rapidly increased as the huge increase of the smart phone and mobile devices. D2D get attention, because D2D is known that it reduce the traffic load of the base station and also improves the reliability of the network performance. However, D2D has a problem that the efficiency decreases as interference is increased. In this paper, we propose a resource allocation scheme to use the resources efficiently when the D2D link share the cellular resources in the cellular network based the uplink. D2D communication utilizes the location information for allocating resources when the eNB know the location of all devices. The proposed scheme select some cellular user using location informations in order to ensure performance of the D2D communication. and D2D link choose cellular user that performs resource allocation using only selected cellular user. Simulation results show optimal value of resource selection in order to ensure most performance of the D2D communication.

※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No. 2014R1A1A2056387)

• First Author : Korea Polytechnic University Department of Electronic Engineering, soo7586@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Korea Polytechnic University Department of Electronic Engineering, jgkim@kpu.ac.kr, 종신회원

* Kongju National University Division of Electrical, Electronic & Control Engineering, seobw@kongju.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-11-347, Received November 9, 2016; Revised January 13, 2017; Accepted February 11, 2017

I. 서 론

최근 다양한 응용 서비스를 탑재한 스마트 단말들이 급속 보급됨에 따라 이동통신 네트워크에서의 데이터 트래픽 또한 급격히 증가하고 있으며, 향후 사물간 통신이 점차 확대될 경우 기지국으로 전송되는 트래픽은 현재 기지국으로는 감당하기 어려울 정도로 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 최근 적은 비용으로 기존 이동통신망의 성능을 개선할 수 있는 방안으로 이동통신 단말들 사이의 직접 통신(D2D) 기술이 연구되고 있다^[1]. D2D 기술은 기지국이나 무선접속 AP(Access Point) 등의 네트워크 인프라를 거치지 않고 인접한 단말들 간에 직접 통신하는 기술로 데이터 트래픽을 줄이면서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용 가능하다. 또한 광고나 마케팅, SNS 등 근접기반 상업 서비스에서도 이용 가능하다^[2,3].

Cellular 네트워크 환경에서 D2D 통신 기술은 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Release 12에서 2011년부터 ProSe (Proximity Services)라는 명칭으로 표준화를 진행하였다. 현재 3GPP Release 13에서는 D2D 단말의 릴레이 기술 등이 포함된 eProSe(Enhancements to ProSe) 라는 표준화를 진행 중에 있다^[4,5].

D2D 통신은 Cellular 네트워크의 부하를 분산하여 트래픽을 낮추고 Cellular 네트워크의 자원을 재사용함으로써 효율성이 증가하는 장점이 있다. 하지만 D2D link와 Cellular 네트워크는 같은 자원을 사용함으로써 서로 간에 간섭을 일으키게 된다. D2D 통신을 위한 셀룰러 네트워크의 상향링크에서는 3가지의 간섭이 존재한다. CUE(Cellular User Equipment)가 D2D link에 일으키는 간섭, D2D link가 eNB에 일으키는 간섭, D2D link간 일으키는 간섭이 있다. 간섭을 일으킬 수 있는 요소가 많기 때문에 효율적인 자원 이용을 하지 않으면 간섭으로 인해 자원 사용에 있어 효율성이 저하된다.

D2D 통신은 간섭으로 인한 효율성 저하를 막기 위해 자원을 할당하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. Cellular통신에서 사용가능한 자원과 D2D통신에서 사용가능한 자원을 고정적으로 나누어 간섭을 줄이도록 하는 기법이 있다. 하지만 상대적으로 D2D link의 수가 적다면 자원의 낭비가 발생한다^[6]. 자원을 할당하기 위해 셀룰러 내부에 그룹을 나누어 자원을 할당하는 기법이 있다^[7]. 이 외에도 전력 제어와 함께 SINR 기법을 통해 주변에 미치는 간섭을 줄여 성능을 보장하는 기법^[8-10]도 제안되었다. 그러나 전력 제어

와 SINR기법을 이용하는 것은 계산의 복잡도가 높아지고 고려해야할 파라미터의 값이 많아지게 된다. 현재 대부분의 연구는 전력제어를 기반으로 하여 많은 결과를 보여주고 있다. 그러나 그와 다르게 전력제어를 제외하고 다른 방향의 연구는 찾아보기 힘들다. 이를 고려하여 전력제어가 들어가지않는 기법으로 위치정보를 활용하는 방안을 중점으로 연구를 하였다. 기존의 위치정보를 고려한 논문의 경우에는 SINR 값을 계산할 때 위치정보에 대한 값을 고려하여 SINR을 계산하며 그에 따른 최적의 자원을 선택하는 기법이 제안되었다^[11]. 또한 거리정보를 통하여 부분적으로 영역을 나누고 영역에 따라 자원할당을 하는 기법도 제안되었다^[12]. 그러나 위 두가지 방식에도 전력제어는 기본적으로 들어가 있으며 전력제어가 없어도 효율을 높일 수 있다면 그 이외의 기법을 적용할 때 더 높은 효율을 발생시킬 수 있다고 판단하기 때문에 전력제어가 없어도 효율을 높일 수 있는 방안으로 거리정보를 이용한 방식과 SINR 정보를 이용한 방식으로 분류하여 거리정보를 통하여 자원을 탐색하고 SINR 정보를 이용하여 전력제어없이 최적화된 자원을 찾을 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 Cellular 네트워크 내부에서 D2D link가 Cellular 자원을 위치정보와 SINR을 활용한 최대 전송률을 찾아내어 자원을 할당하도록 한다. 이때 Cellular 네트워크 내부의 자원과 CUE의 수는 동일하며 eNB는 모든 단말의 위치정보를 GPS를 통해 전부 알고 있다고 가정한다. 자원을 할당하기 위해서 두가지의 알고리즘이 존재한다. 첫 번째로 위치정보를 통해 D2D링크가 사용할 자원 그룹을 생성한다. 두 번째로 선택된 자원 그룹에서 최대 전송률이 나오는 자원을 찾아 선택하도록 한다. 제안된 기법을 이용하여 위치정보만을 사용했을 때 발생하는 단점을 보완하고 최대 전송률을 찾기 위한 과정을 수행함에 따라 높은 계산 복잡도가 발생하는 것을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

II. 본 론

2.1 System Model

상향링크에서 Cellular 단말과 D2D link들이 동일 자원을 공유하는 단일 셀 시나리오를 고려하는 환경이다. Cellular 자원의 개수는 Cellular 단말의 수와 같으며 D2D link 하나가 하나의 Cellular 자원을 사용한다. 또한 D2D link는 Cellular 자원을 같이 공유하는 것이 가능하다. 같은 자원을 사용하는 Cellular 단말과

D2D link의 전송률의 합이 높게 나오도록 할당하는 것이 중점이다.

Cellular 네트워크 내부에 존재하는 자원의 개수는 N개가 존재하고 Cellular 단말의 개수도 자원의 개수와 같게 N개의 단말이 사용되지만 자원과 구분을 하기 위해 C라고 표기한다. D2D link의 개수는 D개가 사용된다. eNB에서 각 단말을 구분하기 위해서 Cellular 단말은 $C=\{1, \dots, c\}$ 그룹을 가지고 D2D link는 $D=\{1, \dots, d\}$ 그룹을 가지고 있다고 표기한다.

그림 1과 같이 1개의 Cellular 단말과 1개의 D2D link가 같은 자원을 가지고 있는 상황에서 Cellular 단말의 경우 D2D link들의 간섭이 존재한다. 그리고 D2D link의 경우는 Cellular 단말에서의 간섭이 존재한다. 이 때, 간섭의 유무를 표시하기 위해 $y_{c,d}$ 라는 수식을 이용하여 $y_{m,k}$ 이면 Cellular 단말 m의 자원을 D2D link k가 공유한다는 표시이며 이면 공유하지 않는다는 표시이다.

Cellular 링크의 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$SINR_{Cellular} = \frac{P_{Cellular} G_{m,eNB}}{P_{noise} + \sum_{k=1}^d y_{m,k} P_{D2D} G_{k,eNB}} \quad (1)$$

여기서, $P_{Cellular}$ 는 Cellular 단말의 송신 전력이고

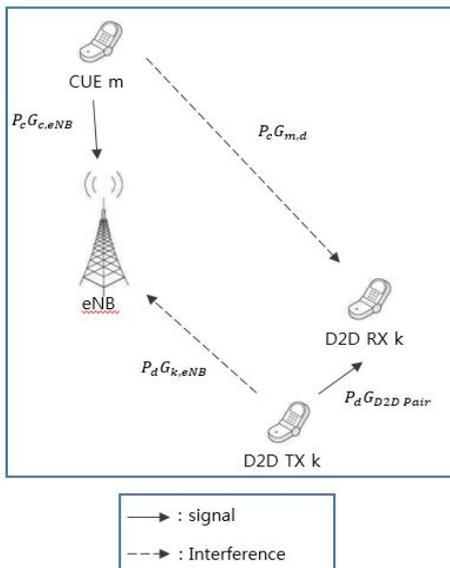


그림 1. 셀룰러 내부 자원할당 시나리오(uplink)
Fig. 1. Resource allocation scenarios in cellular network (uplink)

$G_{m,eNB}$ 는 Cellular 단말 m과 eNB사이의 전력이득을 나타낸다. P_{noise} 는 잡음전력을 나타내며 P_{D2D} 는 D2D link의 송신 전력이고 $G_{k,eNB}$ 는 D2D link k와 Cellular 단말 c사이의 채널이득이다. 그리고 D2D Pair의 SINR은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$SINR_{D2D} = \frac{P_{D2D} G_{D2DLink}}{P_{noise} + \sum_{m=1}^c y_{m,k} P_{Cellular} G_{m,k}} \quad (2)$$

$G_{D2DLink}$ 는 D2D Pair d Tx와 D2D link d Rx사이의 채널 이득이며 $G_{m,k}$ 는 Cellular 단말 m과 D2D link k사이의 전력이득이다. 이 때 전체 전송률이 최대가 되기 위해서 전송률에 대한 식을 정의해야 한다.

$$R_{Cellular} = \log_2(1 + SINR_{Cellular}) \quad (3)$$

$$R_{D2D} = \log_2(1 + SINR_{D2D}) \quad (4)$$

$R_{Cellular}$ 은 Cellular 단말의 전송률을 나타내고 R_{D2D} 은 D2D link의 전송률을 나타낸다. 자원 할당은 Cellular 단말의 전송률과 D2D link의 전송률의 합이 최대가 되는 전송률을 계산한 뒤 D2D link에 전송률의 합이 최대가 되는 Cellular 단말의 자원을 공유하도록 한다.

2.2 Proposed Scheme

현재 위치기반 자원할당 기법^[13]은 시스템의 채널 이득, 잡음, 간섭과 같은 채널 상태에 대한 정보들을 전혀 고려하지 않고 GPS를 통해 알고 있는 위치 정보만을 이용하여 D2D link가 어떠한 자원을 사용할 것인지 판단한다.

각 단말에 대한 위치 정보를 알고 있다면 eNB와의 거리 또는 각 단말 간의 거리를 알 수 있다. 위치를 통해 D2D Pair는 CUE (Cellular User Equip) 들과의 거리를 계산하고 자신이 공유할 수 있는 CUE 자원에 대한 리스트를 생성한다. 이 때, D2D RX와 eNB거리보다 CUE의 거리가 더 멀어야 D2D link는 CUE를 공유할 수 있다고 판단한다. 공유할 수 있는 자원 리스트 생성 이후 어떠한 두 D2D link가 갈등의 요소가 있다면 CUE와의 거리가 더 먼 D2D link가 자원을 사용하도록 하고 다른 D2D link는 자원의 사용을 포기한다. 최종적으로 정해진 자원 리스트에서 가장 거리가 먼 CUE의 자원을 공유하여 자원할당을 하게 된다.

순수하게 거리만을 이용하여 자원할당을 하여 eNB나 D2D 또는 Cellular 단말에서 계산 량을 줄여 오버헤드를 줄여주는 효과를 보이고 있다. 그러나 거리만을 이용한 자원 할당의 경우에는 오버헤드를 줄여주는 면에서는 큰 역할을 하지만 전송률 관점에서 비교해 본다면 손실이 많이 존재할 수 있다. 채널 상태가 고려되어 있지 않아 각 단말간의 간섭의 양을 파악할 수 없어 전송률을 떨어뜨리게 될 가능성도 존재한다.

위치정보를 이용하면서 간섭을 회피하기 위해서 SINR의 정보를 이용하는 방식을 합쳐서 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 기법은 상향링크 상황에서 CUE가 존재하고 eNB에서 GPS를 통해 모든 단말의 위치를 알고 있다. 이때, D2D link와 CUE의 거리를 계산하고 D2D와 CUE의 거리 중에서 거리가 먼 순서대로 X%의 CUE의 자원만 사용하도록 한다. 선택된 CUE 자원 중 D2D Pair는 자원을 선택하기 위하여 CUE와 D2D link의 SINR을 계산한다. 그리고 최대의 전송률을 찾아 CUE의 자원을 D2D link가 공유하도록 한다.

제안하는 방식은 자원할당을 위한 CUE 선택 알고리즘과 D2D 자원할당 알고리즘 두가지로 나누어 설명하도록 한다.

2.2.1 자원할당을 위한 CUE 선택 알고리즘

eNB가 모든 단말의 위치를 알고 있을 때 CUE와 D2D link 사이의 거리를 계산 가능하다.

$$R_{D2DRX,CUE} = \sqrt{(x_{D2DRX} - x_{CUE})^2 + (y_{D2DRX} - y_{CUE})^2} \quad (5)$$

$R_{D2DRX,CUE}$ 는 D2D RX와 CUE 사이의 거리이며 D2D Rx의 좌표는 (x_{D2DRX}, y_{D2DRX}) 이며 CUE의 좌표는 (x_{CUE}, y_{CUE}) 이다. eNB는 D2D link 하나에 대해서 모든 CUE와의 거리를 계산한다. D2D link는 계산된 CUE와의 거리를 먼 순서대로 정렬한다. 먼 순서대로 정렬된 CUE 중에서 X%의 단말의 자원만 사용 가능 자원으로 선택한다.

2.2.2 D2D 자원할당 알고리즘

자원할당을 위한 CUE 선택 알고리즘을 수행한 뒤 각 D2D link는 이용 가능한 CUE의 자원 그룹이 생성된다. 선택된 단말과 D2D link는 서로 자원을 공유하기 위해서 SINR을 계산한다. Cellular 단말의 SINR 계산식은 식(1)번과 같으며 D2D link의 계산식은 식(2)번과 유사하다.

$$SINR_{D2D} = \frac{P_{D2D}G_{D2DLink}}{P_{noise} + \sum_{m=1}^c y_{m,k}(P_{Cellular}G_{m,k} + \sum_{i=1}^d y_{m,i}P_{D2D}G_{k,i})} \quad (6)$$

D2D link의 경우 Cellular 단말의 간섭만이 아니라 같은 자원을 사용하는 D2D에 대한 간섭도 고려하게 된다. $G_{k,i}$ 는 SINR을 계산하고 있는 D2D link와 같은 자원을 사용하는 다른 D2D link사이의 채널이득이다. 제안하는 자원할당 알고리즘의 경우에는 하나의 D2D link가 선택된 자원의 개수가 M개라고 하였을 때 eNB가 모든 단말들의 자원을 관리한다. eNB는 모든 D2D link의 전송률을 비교하기 위하여 각 D2D link가 가질 수 있는 자원 M개를 순차적으로 임의할당을 하게 된다. 모든 D2D 단말들이 임의로 할당받은 자원을 통해 SINR을 계산하게 되고 주변에 같은 자원을 사용하는 D2D link가 존재한다면 간섭을 계산하게 된다. eNB는 위 방식대로 모든 Cellular 자원을 사용할 수 있는 모든 경우의 집합을 전부 계산한 뒤에 자원할당을 하게 된다. Cellular 단말과 D2D Pair의 SINR을 구한 뒤 식(3),(4)를 이용하여 Cellular 단말과 D2D link의 최대 전송률을 구할 수 있다.

$$Max(\sum_{k=1}^d R_k^{D2D} + \sum_{m=1}^c R_m^{Cellular}) \quad (7)$$

최대 전송률을 계산하고 난 뒤 각 D2D link는 최대 전송률일 때 Cellular 단말의 자원을 사용하도록 한다.

그림 2는 제안된 방식의 순서도이다. 자원할당을 위한 CUE 선택 알고리즘은 그림 2의 점선 위쪽 부분이며 D2D 자원할당 알고리즘은 점선 아래쪽 부분이다.

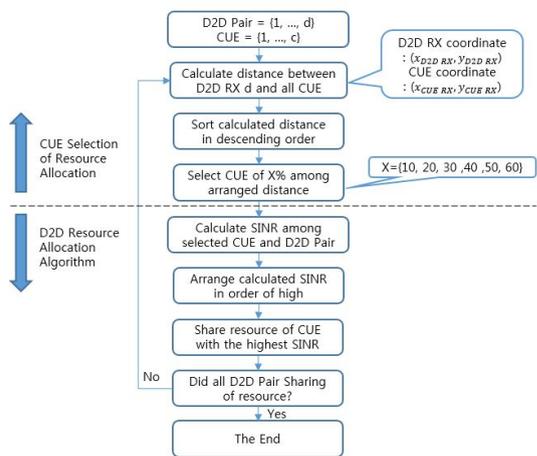


그림 2. 제안된 알고리즘 순서도
Fig. 2. Flow chart of the proposed scheme

III. 실험

본 장에서는 단일 셀에서 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다.

시뮬레이션 환경은 표 1과 같고 C++을 사용하여 시뮬레이션을 설계하였다. D2D link의 개수는 3~8개로 설정 하였으며 셀의 반경을 500m로 가정하고 D2D의 통신반경은 100m로 설정하였다. QoS를 만족하는 목표 SINR 값은 0dB로 설정하였으며 D2D와 Cellular 단말의 전력은 10dBm과 23dBm으로 고정이다. 23dBm은 단말의 최대전력을 기준으로 하여 설정하였으며 10dBm은 셀룰러 반경과 D2D 사이의 거리 등을 고려하여 설정하였다. 잡음의 세기는 -114dBm이다. Pathloss는 시뮬레이션 환경과 같이 설정하였으며 D2D RX와 Cellular 단말의 거리 계산을 통한 자원 그룹 선택과 최대 전송률을 구하여 자원을 할당하는 제안된 알고리즘의 성능을 분석한다.

그림 2는 D2D link가 자원을 할당받기 위해 Cellular 자원 X%를 우선적으로 선택하게 되는데 이때의 자원선택의 비율을 10%부터 60%까지 10%의 간격을 두고 비교하였다. 그림 2를 보면 선택된 자원의 개수가 증가함에 따라 전송률이 증가함을 확인할 수 있다. 그리고 10%와 20%의 자원을 보면 다른 자원 선택량보다 변화의 폭이 더 크고 전송률이 다른 자원 선택량에 비해 낮은 것을 확인할 수 있다. 그 원인은 단말의 선택 개수가 적기 때문에 그만큼 간섭을 피할 수 있는 자원의 양이 부족하기 때문이다. 30% 이상부터는 간섭에 의한 전송률 격차가 줄어들지만 30%는 상위 40%이상들과 비교하였을 때 전송률 차이가 비교적 많이 나는 것을 확인할 수 있다. 반대로 40%~60% 부분은 전송률의 격차가 생각보다 크

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation Environment

Parameter	Value
Cell radius	500m
Maximum distance between D2D links in a pair	100m
Transmission power of D2D users	10dBm
Transmission power of Cellular users	23dBm
P_{noise}	-114dBm
Number of CUE	10
Pathloss	$128.1+37.6*\log(d/1000)$

지 않다는 것을 확인 가능하다.

표 2의 경우에는 그림 2의 6개의 자원선택 비율에 따른 계산량을 나타낸 것이다. 표 2에 계산된 계산복잡도에 관련된 수식 내용은 APPENDIX에 설명되어 있다. 단순히 표 2의 계산량만 비교해서 보았을 경우에는 선택된 단말의 개수가 많을수록 계산량이 급속도로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 50%와 60%의 경우에는 10%~40%보다 급속도로 계산 복잡도가 증가하고 있는 것을 확인할 수 있게된다.

그림 3과 표 2를 같이 보았을 경우에 그림 3에서는 10%와 20%는 자원선택에 따른 간섭이 존재하여 전송률이 일정치 못한 것을 확인하였고 표 2에서는 50%와 60%의 자원 선택은 계산복잡도가 크게 증가하여 오버헤드가 크게 증가한다는 것을 확인가능하다. 따라서 30%에서 40% 사이가 가장 적절한 자원선택이라고 볼 수 있게 된다.

그림 4에서는 제안하는 자원할당 기법과 다른 자원 할당기법의 전송률을 비교한 그림이다. Random의 경우에는 자원을 할당하는데 아무런 기법을 사용하지 않고 무작위로 자원을 할당한 경우이며 Only SINR의 경우에는 SINR만을 이용하여 최적의 자원할당을 하

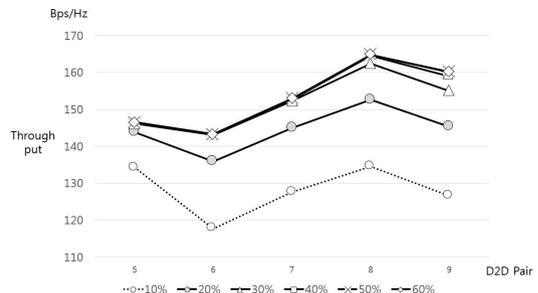


그림 3. 제안방식의 D2D 링크 개수에 따른 전체 전송률 비교
Fig. 3. Total throughput vs the number of D2D links with proposed scheme

표 2. 모든 자원할당에 따른 계산복잡도
Table 2. Computational complexity for all the resource allocation

proposed scheme	D2D link=5	6	7	8	9
10%	226	271	316	361	406
20%	257	334	443	616	917
30%	468	999	2,502	6,921	20,088
40%	1,249	4,366	16,699	65,896	262,549
50%	3,350	15,895	78,440	390,985	1,953,530
60%	8,001	46,926	280,251	1,679,976	10,078,101

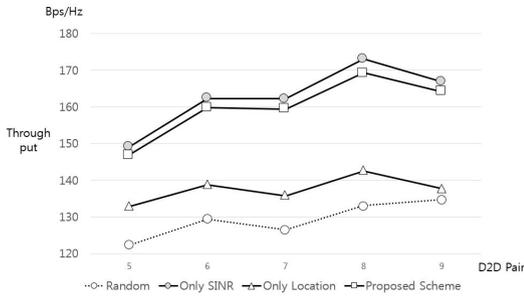


그림 4. 자원할당 기법에 따른 전체 전송률 비교
Fig. 4. Total throughput comparison based on resource allocation scheme

는 방법이다. Only Location의 경우에는 채널의 상태 정보를 고려하지 않고 위치정보만을 이용하여 자원을 할당하는 경우이다. 제안하는 자원할당의 경우에는 자원선택의 비율이 40%가 되도록 하였으며 제안 기법의 전송률은 단말의 위치가 무작위로 바뀌기 때문에 그림 3의 전송률과는 다소 차이가 존재하게 된다.

4가지의 자원할당을 비교하였을 때 무작위로 자원을 할당하는 Random기법의 경우가 가장 낮은 전송률을 보이고 있다. 제안하는 자원할당의 경우에는 SINR만을 이용하였을 때와 비교했을 때 전송률의 격차가 많이 차이가 나지않을 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 그림 3번에서 확인할 수 있게 되는데 제안하는 기법의 40% 비율보다 더 크게 되면 전송률의 격차가 점점 줄어들게 된다. 결과적으로 SINR기법은 제안기법의 단말 선택률이 100%와 같으므로 전송률에서는 큰 차이가 나지 않게 된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단일 셀 네트워크 환경에서 기존 SINR과 위치정보를 융합하여 자원할당 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 위치정보를 통하여 거리를 계산하고 이를 통해 거리가 먼 Cellular 단말이 사용하는 자원들을 일부 개수만 선택하였고 선택된 Cellular 자원 중에서 SINR을 이용하여 Cellular 단말의 전송률과 D2D 단말의 전송률이 최대가 되도록 계산하여 자원을 선택하도록 하였다. 이러한 방식의 자원할당을 통해 전송률 상승과 함께 QoS성능도 보장하였다. 또한 성능평가를 통하여 D2D link가 Cellular 단말의 자원을 X 퍼센트 사용함에 따라서 계산 복잡도와 전송률 성능이 차이가 난다는 점을 확인할 수 있어 D2D link가 Cellular 단말의 자원을 어느 정도 사용해야 최적의 자원 사용개수인지를 확인할 수 있었

고 Random, only SINR, only Location 기법과 비교를 통하여 제안하는 알고리즘의 우수성도 나타내었다. 추후 현 제안 방식을 기반으로 다른 더 다양한 방식들과 비교 분석하며 이 외에도 단일 셀이 아닌 다중 셀이나 전력제어가 포함된 여러 방면으로의 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

APPENDIX

제안된 방식은 먼저 Cellular 자원을 선택하는 알고리즘을 수행하게 된다. Cellular 자원의 개수를 M개라고 하고 D2D link의 개수를 N개라고 가정한다. eNB가 CUE와 D2D link의 거리를 계산한 이후이며 정렬 방식을 버블정렬을 이용하여 거리순으로 정렬한다고 할 때 하나의 D2D link는 M개의 거리를 거리순으로 재정렬하게 된다. 이 때 버블정렬을 이용하여 거리순으로 정렬하게 되는데 정렬 할 때 첫 비교량은 M-1개를 비교하게 된다. 두 번째 비교량은 처음에 비교된 하나의 단말을 제외한 M-2개를 비교하게 된다. 세 번째 비교량은 이미 비교된 2개의 단말을 제외한 M-3개를 비교하게 된다. 이처럼 1개씩 감소하는 등차수열의 합과 같이 되는데 이 합은 다음과 같다.

$$(M-1) + (M-2) + \dots + 2 + 1 = \frac{M(M-1)}{2} \quad (8)$$

하나의 D2D link에 따른 계산량은 결과적으로 위와 같고 전체 D2D link에 따른 계산량은 다음과 같다.

$$N^*(M-1) + (M-2) + \dots + 1 = N^* \frac{M(M-1)}{2} \quad (9)$$

식 9번까지가 제안된 방식중 Cellular 자원을 선택하는 알고리즘의 계산량이다. 다음으로 D2D 자원할당 알고리즘은 처음에 자원중에서 Cellular 자원을 선택하는 알고리즘을 통해서 M개의 X%의 자원이 선택이 되게 된다. 선택된 자원의 개수를 K개라고 했을 때 K는 다음과 같다.

$$K = M^*(0.01 * X) \quad (10)$$

K개의 자원 중에서 N개의 D2D link와 K개의 Cellular 단말의 throughput이 최대가 되는 단말을 찾아야한다. 즉, 모든 D2D link가 1번 자원을 사용하는 것부터 시작하여 모든 D2D link가 K번 자원을 사용

하는 것까지 전부 비교를 해야한다. 만약 하나의 D2D link가 K개의 자원을 공유할 때 자원의 최대 개수인 K개만큼 경우의 수가 존재한다. 그 다음 두 개의 D2D link 1과 2가 K개의 자원을 공유한다고 할 때 D2D link 1이 1번 자원을 사용할 때 D2D link 2의 경우 M개의 자원을 사용할 수 있는 경우의 수가 존재한다. D2D link 1의 경우에도 자원을 선택할 수 있는 경우의 수가 M개가 존재하므로 두 개의 D2D link의 경우에는 M^2 의 경우의 수를 가지게 된다. 따라서 N개의 D2D link가 K개의 자원을 사용하는 경우에는 K^N 개의 경우의 수가 나오게 된다. 즉, D2D 자원할당 알고리즘의 경우에는 K^N 개의 계산량이 나오게 된다. 이를 M과 N에 대한 결과로 수정하면 다음과 같다.

$$K^N = [M * (0.01 * X)]^N \quad (11)$$

제한된 알고리즘의 전체 계산량은 다음과 같다.

$$N * \frac{M(M-1)}{2} + [M * (0.01 * X)]^N \quad (12)$$

References

[1] M. J. Yang, J. U. Shin, and P. J. Song. "LTE-D2D Technology," *J. KICS*, vol. 31, no. 2, pp. 112-114, Feb. 2014.

[2] H. M. Kim, H. N. Lee and S. K. Kim. "Sector-based device discovery scheme for D2D communication in LTE-Advanced networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1521-1531, Aug. 2015.

[3] M. S. Corson, R. Laroia, J. Li, V. Park, T. Richardson, and G. Tsirtsis, "Toward proximity aware internetworking," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 26-33, Dec. 2010.

[4] 3GPP, *Feasibility study for proximity services(ProSe)* (Release 12)(2013), Retrieved Nov., 6, 2016, form http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.803/22803-c20.zip

[5] 3GPP, *Work item proposal for enhanced LTE device to device proximity services*(2014), Retrieved Nov., 6, 2016, form http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_66/Docs/RP-142311.zip

[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," *WPMC*, pp. 24-27, Taipei, Taiwan, Sept. 2012.

[7] H. M. Kim, H. N. Lee, and S. K. Kim, "Grouping resource allocation scheme for D2D communications," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1532-1541, Aug. 2015.

[8] M. Zulhasnine, C. C. Huang, and A. Srinivasan, "Efficient resource allocation for device-to-device communication underlying LTE network," *IEEE WiMob*, pp. 368-375, Niagara Falls, Canada, Oct. 2010

[9] H. Meshgi, D. M. Zhao, and R. Zheng, "Joint channel and power allocation in underlay multicast device-to-device communications," *IEEE ICC*, pp. 2937-2942, London, UK, Jun. 2015.

[10] E. T. Lee, J. W. Shin, J. H. Gu, and M. Y. Chung, "Optimal power control scheme for maximizing data transmission performance of D2D communications underlying cellular systems," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 319-320, Jeju, Korea, Nov. 2015

[11] H. M. Kim, G. M. Kang, and O. S. Shin, "Resource allocation scheme for multiple device-to-device communications in a multicell network," *J. IEIE*, vol. 53, no. 9 pp. 18-25, Sept. 2016.

[12] X. Li, O. S. Shin, and Y. Shin, "Resource allocation and power control for device-to-device communication in LTE-Advanced based on user area information," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 32-42. Jan. 2015.

[13] M. Rodziewicz, "Location-based mode selection and resource allocation in cellular networks with D2D underlay," in *Proc. 21th Eur. Wirel. Conf.*, pp. 1-6, Budapest, Hungary, May 2015.

강 수 형 (Soo-Hyeong Kang)



2016년 2월 : 한국산업기술대학교 전자공학과 학사
2016년 3월~현재 : 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 무선통신, D2D 통신

서 방 원 (Bang-Won Seo)



1997년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
2010년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
2004년 11월~2013년 2월 : 한국

전자통신연구원 선임연구원

2013년 3월~현재 : 공주대학교 부교수

<관심분야> 이동통신, 단말간 직접통신 (D2D), 다중 안테나 기술 (MIMO), 프리코더 설계

김 정 곤 (Jeong-Gon Kim)



1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1998년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1998년 6월~1999년 5월 : 미국

University of Hawaii 전자공학과 Post-Doc.

1999년 6월~2001년 4월 : LG Telecom 차세대 통신 연구소 선임연구원

2001년 5월~2003년 2월 : 삼성전자 통신 연구소 표준 연구팀 책임연구원

2003년 3월~현재 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 무선통신, 5G 이동 통신, MIMO, 협력통신, WBAN 구현 및 응용기술