

LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신을 위한 특정 디바이스 탐색 기법

김향미* · 이한나* · 김상경**

Specific Device Discovery Method for D2D Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks

Hyang-Mi Kim* · Han-Na Lee* · SangKyung Kim**

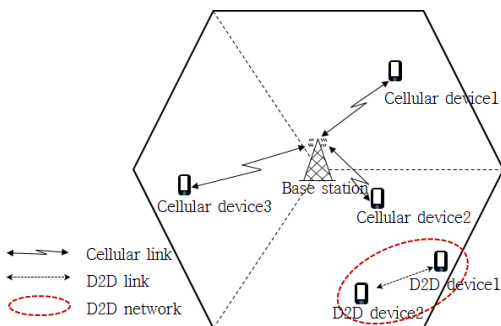
■ Abstract ■

Device discovery for D2D (device-to-device) communication enables a device to discover other devices in order to initiate communication with them. Devices should perform the discovery phase using a small quantity of radio resource in a short time and be able to reduce the load of the base station. Legacy device discovery schemes have focused on discovering as many target devices as possible. However, it is not appropriate for peer-to-peer D2D communication scenario. Further, synchronization problems are an important issue for discovery signal transmission. This paper proposes a discovery method that one requesting device discovers a specific target for communication. Multiple antenna beamforming is employed for the synchronization between the base station and a target device. The proposal can reduce the load of the base station using the information that it already maintains and improve the reliability of the device discovery because two times of synchronizations using beamforming among the base station and devices can make the exact discovery of a target device with mobility possible.

Keyword : LTE-Advanced, D2D Communication, Device Discovery, MIMO, Beamforming

1. 서 론

D2D(Device-to-device) 기술은 기지국(BS : Base Station)이나 무선접속 공유기(AP : Access Point) 등의 네트워크 인프라를 거치지 않고 인접한 단말기간에 직접 통신하는 통신 기술을 의미하며, 다중 안테나 MIMO 기술과 더불어 LTE-Advanced 이후 차세대 이동통신의 요소 기술이다.



[그림 1] D2D 통신의 예

[그림 1]은 D2D 통신의 예를 보여주고 있다. 기존의 셀룰러 네트워크 인프라를 통해서 통신하는 방식에 비해 D2D 통신은 많은 장점을 가지고 있다. 이는 기지국으로 집중된 트래픽을 분산시켜 셀룰러 네트워크의 부하를 줄일 수 있으며, 무선 주파수 자원을 재사용(reuse)하므로 셀 내에 동시에 여러 개의 D2D 통신링크를 생성해서 셀룰러 시스템의 사용률과 주파수 효율을 높일 수 있다. 또한 단말기간의 근거리 통신으로 통신 시 발생하는 지연과 소비 전력을 줄일 수 있으며, 접속 시간 단축 및 단말기간의 릴레이(relay) 통신을 통해서 셀 커버리지 확장 등의 효과를 기대할 수 있다[1-5].

D2D 통신은 일반적으로 인근 D2D 단말을 찾는 단말 탐색 단계, 단말 탐색 단계에서 찾은 다른 D2D 단말들 중 데이터를 전송할 단말과 무선 링크를 연결하는 링크 생성 단계, 그리고 무선 링크를 연결한 단말들 간에 트래픽을 전송하는 데이터 전송 단계의 세 과정을 거쳐 이루어진다[6, 7].

단말 탐색은 D2D 통신을 위한 가장 기본적인

절차로 해당 기지국의 셀 범위, 그리고 인접한 셀 범위 내에서 D2D 통신이 가능한 단말들을 탐색하는 과정이다. 이때 짧은 시간에 적은 양의 무선 자원 및 인프라 망을 이용하여 단말의 부담을 최소화하고, 오버헤드를 줄여 기지국의 트래픽 부하를 줄일 수 있는 기술이 요구된다[7].

RAN WG1 2013년 5월 제73차 회의에서 논의된 사항들을 살펴보면 D2D 단말 탐색에 대하여 대상 단말의 탐색 범위에 따라 사용자 용도에 맞춘 제한적 D2D 통신을 위한 단말 탐색, 개방적 D2D 통신을 위한 단말 탐색, 서로 다른 공중이동 망을 이용하는 단말 탐색, 로밍 이용자를 위한 단말 탐색, 네트워크 D2D 통신을 위한 단말 탐색 등으로 분류하고 있다[8-9].

Ying et al.[10]에서는 단말 탐색에 대하여 Direct Discovery, eNB-Directed Discovery, Discovery via Enhanced Location Information으로 분류하고 있다. Direct Discovery는 D2D 통신을 하고자 하는 단말이 주위에 대상 단말이 있는지 정해진 시간에 discovery signal을 보내고 이를 수신한 단말이 응답하는 형태로 동작하는 것이다. 발견 가능한 단말들의 수가 많은 경우이거나 발견 목표 단말의 인접 가능성에 대한 정보를 알지 못할 때 적용 가능하고, idle 상태의 단말 탐색이나 connected 상태의 단말 탐색 모두 쓰일 수 있다. eNB-Directed Discovery는 eNB(Enhanced Node B)가 Discovery에 필요한 정보를 제공해 주는 것이다. 이는 Direct Discovery 기법과 비교하여 간섭을 제거하거나 줄일 수 있고, 발견 오류 검출 가능성을 줄일 수 있다. 또한 discovery 시간을 줄일 수 있으며, 특정 목표 단말을 찾을 때 더욱 효과적이다. Discovery via Enhanced Location Information 방법은 단말이 전송하는 discovery 신호를 기지국이 수신하여 단말의 위치정보를 파악하고, 기지국이 이러한 정보를 축적하여 discovery 하고자 하는 단말에게 후보군을 제공해 주는 역할을 한다.

Anastasios et al.[11]은 구체적인 단말 탐색 기

법을 제안한 것으로 네트워크의 완전한 제어를 받아 탐색하는 기법과 약간의 제어를 받아 탐색하는 두 가지 알고리즘을 제안하였으며, D2D 통신을 위한 새로운 단말의 쌍(paris)을 탐색함에 있어 두 번째 알고리즘이 지연과 오버헤드 측면에서 더 효과적임을 확인시켰다.

한편 단말 탐색에 있어 고려되어야 할 중요한 문제는 discovery 신호 전송을 위한 셀룰러 자원 사용 문제와 단말들 간의 동기화 문제이다. 자원 사용에 있어서는 discovery 만을 위한 전용 자원을 할당받아 사용하는 방법과 셀룰러 자원을 공유하는(reuse) 방법이 있고, 동기화 문제에 있어서는 discovery 신호 전송을 위한 시간 동기화는 물론 단말이 idle 상태이거나 재난 상황일 때 단말들의 동기화가 고려되어야 한다[9, 12-14].

논의된 단말 탐색 기술들에서도 알 수 있듯이, D2D 통신을 위한 단말 탐색은 D2D 통신이 적용될 수 있는 다양한 규모와 용도의 시나리오에 적용하기에 적합하도록 수요에 맞는 단말 탐색 기법이 필요하며, 탐색 신호 전송을 위한 시간 동기화 문제도 반드시 고려되어야 한다.

이에 본 논문에서는 단말 탐색에 대하여 D2D를 희망하는 단말이 주체가 되어 하나의 특정 대상 단말을 탐색하는 기법을 제안한다. LTE-Advanced 네트워크에서 여러 개의 안테나를 갖는 단일 송수신기 사이에서 정보 전송이 이루어지므로 단일 사용자 MIMO(Single-User MIMO) 기술을 적용할 수 있다. SU-MIMO 기술은 다중 전송 안테나를 갖는 사용자가 다중 수신 안테나를 갖는 사용자와 다중 입력·다중 출력 방식으로 전송이 이루어지는 것으로 여기에서는 자세한 SU-MIMO 기술의 채널 용량 및 채널 행렬 분해와 같은 기술에 대하여는 다루지 않는다. 다만 SU-MIMO 기술을 단말 탐색에 적용하기 위하여 D2D 송신 단말과 D2D 수신 단말은 상대 단말로부터 PMI(precoding matrix index), CQI(channel quality indicator), RI(rank indicator) 정보를 기지국으로부터 전송 받는다고 가정한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 D2D 통신을 위한 특정 단말 탐색에 빔포밍 기술을 이용하여 탐색하는 단말 탐색 기법을 제안하고, 제 3장에서 제안하는 기법의 단말 탐색의 정확도 및 단말 탐색 확률, 랜덤 단말 탐색 기법과 제안하는 기법의 메시지 오버헤드 수, 단말의 이동 속도에 따른 탐색 확률 등을 비교 분석한 후, 제 4장에서 결론을 맺는다.

2. 본 론

LTE-Advanced 시스템에서 주목 받고 있는 요소기술 중 하나는 다중안테나 MIMO 기술이다. 이는 다수개의 입·출력(송·수신) 신호를 여러 안테나를 통해 전송함으로써 채널 용량을 증대시킬 수 있으며, 나아가 채널 품질 및 신뢰도를 높일 수 있는 기술로 본 논문에서 활용할 다중 안테나 기술은 SU-MIMO 기술과 빔포밍이다. SU-MIMO 기술을 통해서는 채널 추정을 위해 단일 송수신 단말들로부터 PMI, CQI, RI 등의 정보를 피드백 받은 기지국이 이들 정보를 바탕으로 송수신단의 적절한 프리코딩을 통하여 해당 송수신 단말 간의 채널 용량을 증가시켜 링크품질을 향상시킬 수 있다. 빔포밍은 획득한 채널 정보를 바탕으로 안테나 가중치를 높여 특정 단말의 방향으로 집중하는 빔을 형성하여 다양한 채널 이득을 얻을 수 있다. LTE-A 시스템에서는 이미 송·수신 모두에서 4×4이나 8×8의 다중 안테나를 정의하고 있다[15-17].

본 논문에서는 [그림 1]과 같은 LTE-Advanced 환경에서의 단일 셀 환경을 고려하며, 기지국은 채널의 초기 상태정보를 모두 알고 있다고 가정한다. 간섭 제거 빔포밍을 사용하여 빔을 전송하는 사용자들 간에 신호 간섭을 최소화하도록 빔을 형성, 단일 사용자에게 빔포밍하는 것을 고려한다. D2D 통신 환경을 위한 최소한의 거리 조건으로 기지국과 D2D 통신 페어들 간의 거리는 35m 이상으로 하며, 제안하는 기법은 D2D 송신 단말이 하나의 특정

D2D 수신 단말과 일대일 멀티미디어 통신을 하는 시나리오에 적용 가능하다. 즉, 단말 탐색의 범위는 사용자 용도에 맞춘 제한적 단말 탐색의 분류에 해당하며 단말 탐색의 방법은 Discovery via Enhanced Location Information 방법에 해당한다고 볼 수 있다.

2.1 기지국과 MU 단말들 간의 동기화

<표 1>은 기지국이 가지고 있는 셀 내 사용자 단말들에 대한 정보이다. 이는 단말이 해당 기지국의 셀 내에 진입하면서 핸드오버 등의 이유로 이루어진 동기화를 통해 이미 알고 있는 정보들이다. 표 1의 단말 목록 정보리스트에서 사용자 단말의 ID 목록에서 두 대상 단말 D2D 송신 단말(D_T : D2D Transmitter, 이하 D_T)과 D2D 수신 단말(D_R : D2D Receiver, 이하 D_R)이 기지국의 범위 내에 있음을 확인할 수 있다. 거리는 두 단말이 기지국으로 보낸 수신 신호세기를 바탕으로 구할 수 있으며, 각도는 D_T와 D_R의 거리를 구할 때 쓰인다.

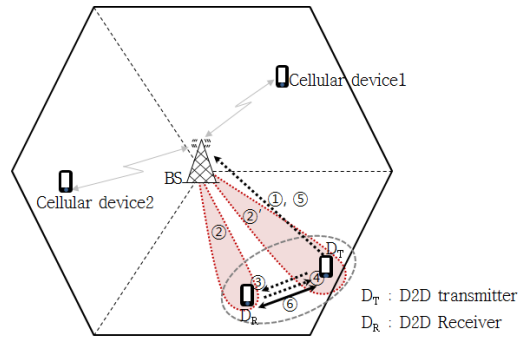
<표 1> 기지국의 단말 목록

<i>User ID₁</i>	Distance	Angle	...	PMI	CQI	RI	...
... ..							
<i>User ID_{D_r}</i>	Distance	Angle	...	PMI	CQI	RI	...
... ..							
<i>User ID_{D_r}</i>	Distance	Angle	...	PMI	CQI	RI	...
... ..							
<i>User ID_{n₁}</i>	Distance	Angle	...	PMI	CQI	RI	...

[그림 2]에서 보는 바와 같이 D_T가 기지국에 하나의 특정 단말(D_R)과의 D2D 통신을 요청하면, 기지국은 자신이 갖고 있는 단말 목록(<표 1> 참조)에서 D_R이 있는지 확인한다. 기지국은 목록에서 찾은 D_T와 D_R의 거리, 기울기와 PMI, CQI, RI 등의 정보를 바탕으로 두 단말 간 동기화를 위한 채널 정보와 D_T로는 D_R를 탐색할 수 있는 정보를 제공하며, D_R로는 동기화 자원을 전송한다. 이때 MU-

MIMO 기술을 바탕으로 D_T와 D_R로 전력을 조절하여 빔을 형성하여 전송할 수 있다. 이것이 기지국과 두 단일 사용자 단말들 간의 1차 동기화이다.

기지국이 두 단말로 제공하는 정보에는 각 단말의 PMI, CQI, RI 등의 정보를 반드시 포함한다. 이는 기지국이 단말 간의 채널 추정을 위해 이미 피드백 받아 놓은 최신 정보를 이후 과정에서 D_T와 D_R간 MU-MIMO 기술을 이용하여 빔포밍을 형성하기 위한 것이다. 이처럼 기지국과 단말 간 빔을 사용하는 이유는 이미 알고 있는 기지국의 정확한 정보를 바탕으로 두 단말로만 향하는 신뢰성 있는 탐색 정보를 전송할 수 있기 때문이다.

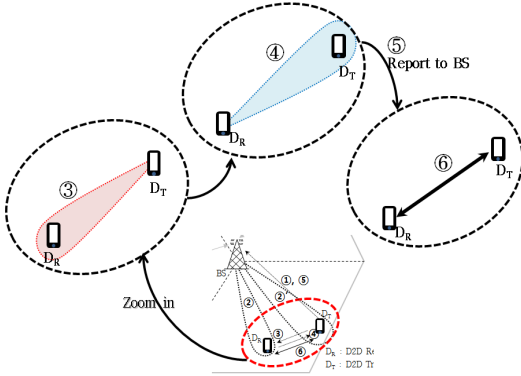


[그림 2] 빔을 이용한 탐색 자원 할당과 기지국 대 단말 간 1차 동기화

2.2 MU 단말들 간의 동기화

기지국으로부터 MU-MIMO 바탕의 빔포밍 형성을 위한 정보와 두 단말 간 동기화를 위한 자원을 확보한 D_T는 다음 단계로 [그림 3]([그림 2]의 ③~⑥단계 확대)에서 보는 바와 같이 기지국으로부터 전송받은 D_R의 정보와 채널 정보를 가지고 D_R과의 동기화를 시작한다. 이때 역시 빔을 활용하는데, 이는 D_R의 이동성을 고려한 채널 상태 정보 등 D2D 통신이 가능한지를 판단할 수 있는 근거가 된다. D_T는 D_R로부터 회신된 정보를 바탕으로 둘 간의 통신이 가능함을 판단하는 근거로 삼는다. 통신 가능 여부를 판단한 D_T는 기지국으로 제어신호(control signal)를 통해 상태를 보고하고

나면 두 단말 간의 링크 형성 및 통신이 이루어진다.



[그림 3] 빔포밍을 이용한 단말 간 2차 동기화 및 링크 생성

<표 2>는 특정 하나의 단말을 탐색하는 제안 기법을 통해 갱신한 기지국의 정보 테이블로, 여기서 기지국이 갱신한 정보를 바탕으로 D2D 통신의 통신 가능여부를 확인할 수 있다.

<표 2> 기지국의 단말 목록(D2D 단말 탐색 후)

$User ID_{D_T}$	Distance	Angle	...	PMI	...	D2D check
...						
$User ID_{D_T}$	Distance	Angle	...	PMI	...	DR가 D2D
...						
$User ID_{D_R}$	Distance	Angle	...	PMI	...	DT와 D2D
...						
$User ID_{D_n1}$	Distance	Angle	...	PMI	...	D2D check

<표 3>과 <표 4>는 D_T 와 D_R 이 D2D 단말 탐색 전후 보유한 서로의 정보 목록으로 이해를 돕기 위한 것이다.

<표 3> 단말의 정보 목록(D2D 단말 탐색 전)

Get DATA of D_T (Before D2D discovery)					
$User ID_{D_T}$	Distance	Angle	PMI, CQI, RI	Channel	
Get DATA of D_R (After D2D discovery)					
$User ID_{D_T}$	Distance	Angle	PMI, CQI, RI	Channel	

D2D 단말 탐색전의 정보 목록은 기지국에서 제공받은 정보들이다. D_R 의 사용자 ID와 거리, 각도 등은 D_T 가 D_R 을 탐색하기 위한 위치 정보 파악을 위해 탐색 주체(D_T)의 요청에 따라 제공받은 정보이다. PMI, CQI, RI, 채널 정보 등은 D_T 와 D_R 사이의 SU-MIMO를 바탕으로 빔을 형성하기 위해 제공 받은 정보이다. 이들 정보를 바탕으로 D_T 가 D_R 과의 거리, D_R 의 신호세기 산출이 가능하다. 두 단말 간의 거리는 기지국이 알고 있는 두 단말 간의 거리와 두 단말 사이의 끼인각을 이용하여 식 (1)의 cosine 제2법칙에 적용하여 산출할 수 있다.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta \quad (1)$$

D_R 의 신호세기는 식 (2)와 같은 SNR값을 이용하여 산출 가능하다.

$$SNR = \frac{P_{D_R}}{N0} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \frac{G_{D_T} \times G_{D_R} \times P_{D_T}}{N0} \quad (2)$$

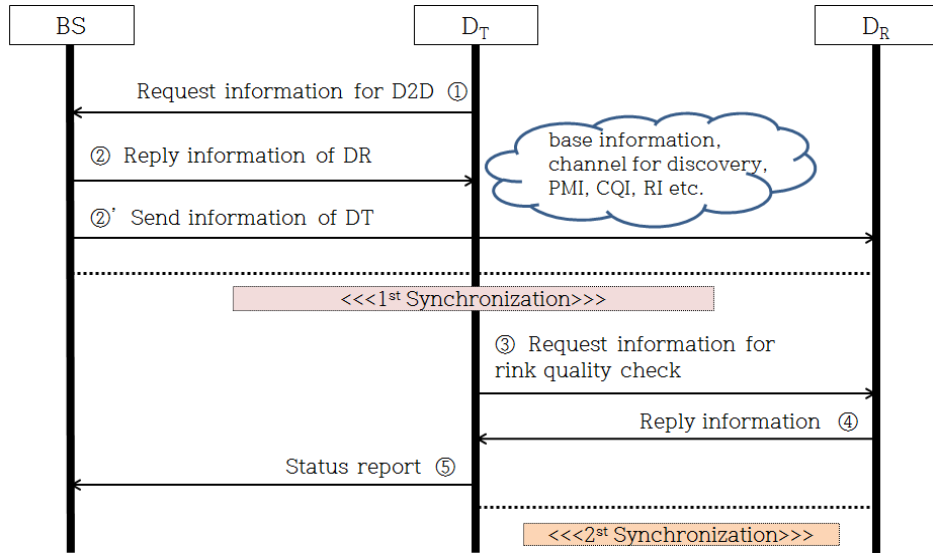
<표 4> 단말의 정보 목록(D2D 단말 탐색 후)

Get DATA of D_T (After D2D discovery)					
$User ID_{D_n}$	Distance	Angle	PMI...	Channel	D2D check
Get DATA of D_R (After D2D discovery)					
$User ID_{D_r}$	Distance	Angle	PMI...	Channel	D2D check

이와 같이 단말에서도 이웃한 단말의 정보 테이블을 갱신하는 이유는 MU-MIMO(Multi-User MIMO) 환경으로 다수 단말 탐색을 탐색 할 때와 다수의 D2D 링크 생성에 활용할 수 있기 때문이다.

2.3 제안하는 탐색 과정 도식화

제안하는 기법의 흐름을 [그림 4]와 같이 도식화할 수 있다. 단말 탐색 과정에서 중요한 동기화 문제는 1차 동기화와 2차 동기화를 통해 해법을 제시했으며, 링크 품질까지 향상시킬 수 있어 통신의 신뢰성을 유지할 수 있다. 또한 기지국으로 상태를 보고하기 때문에 기지국에서 충분히 제어가 가능하다.



[그림 4] 단말 탐색 과정

3. 성능분석

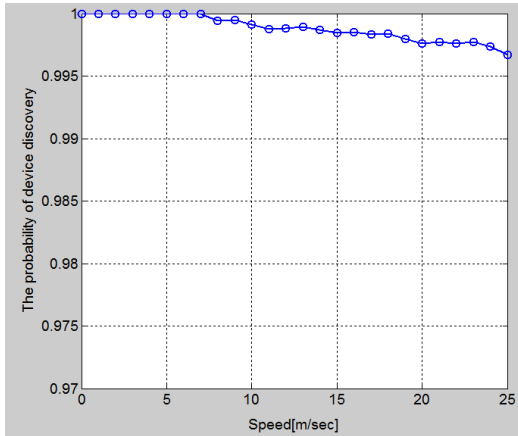
제안하는 기술의 성능 평가에는 MATLAB 시뮬레이터를 사용하였으며, LTE-Advanced 시스템의 단일 셀 환경을 고려하였다. 시뮬레이션 파라미터는 <표 5>와 같다.

<표 5> 파라미터

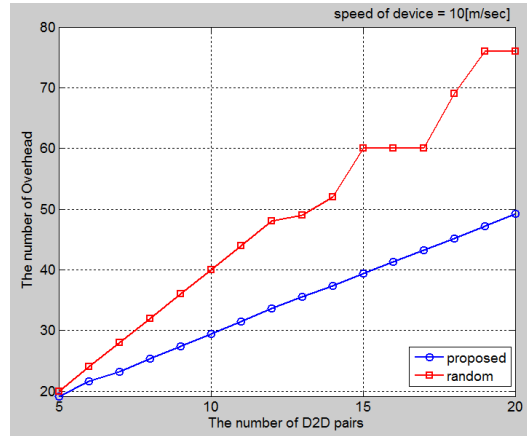
Parameter	Values
Cell radius	500m
Spectrum allocation	20MHz
Number of Cellular users	200
Number of D2D users	20
Number of available Resource Block	110
Minimum distance between D2D pairs in a pair	100m
Maximum distance between D2D pairs in a pair	50m
Transmission power of Cellular Users	24dBm
Transmission power of D2D users	8dBm
Distribution of D2D users	random
Noise density	-174dBm/Hz

기존의 단말 탐색 방식들은 주로 불특정 다수의 단말 탐색에 초점을 맞추어 진행되었으나 제안하는 논문의 경우 특정 단말 탐색에 목표를 두었다는 점에서 차이가 있다. 그러므로 기지국의 도움을 받아 특정 단말을 탐색하는 본 논문의 경우 기존 탐색 방식과의 비교가 어려워 단말의 이동성을 고려한 탐색, 랜덤한 탐색과 비교한 메시지의 오버헤드 크기 비교, 단말의 이동 속도와 단말의 밀집도에 따른 탐색 확률 등 세 가지의 시나리오에 따라 자체 성능 분석하였다.

[그림 5]는 단말의 이동성을 고려했을 때 D2D 송신 단말(D_T)이 특정의 D2D 수신 단말(D_R)을 발견할 확률을 보인다. 그래프에서도 확인할 수 있듯이 특정 하나의 단말을 탐색함에 있어 대부분의 대상 단말을 탐색한 결과를 볼 수 있으며, 속도가 증가할수록 탐색 확률이 다소 감소하기는 하지만 대부분의 단말을 탐색한다는 것을 확인할 수 있다. 또한 이와 같이 이동성을 고려한 단말 탐색 성능 평가의 경우 기존 단말 탐색에서는 단말의 이동성이 성능 평가에 고려되지 않았다는 점에서 의미가 있다.



[그림 5] 단말의 이동성을 고려한 단말 탐색



[그림 6] 오버헤드의 크기 비교

또한 LTE-Advanced 시스템 환경에서 단말의 이동성은 반드시 고려되어야 하며, 비록 기지국의 도움으로 단말 탐색이 이루어지나 단말의 이동성은 끊임없이 진행되므로 이처럼 이동성을 고려하여 단말을 탐색하는 것이 정확한 성능 평가의 척도가 될 것이다.

[그림 6]은 단말의 이동 속도를 10[m/sec]으로 고정 시키고, 제안하는 기법과 랜덤하게 D2D 단말을 탐색할 경우에 탐색을 위해 주고받는 메시지의 수를 비교한 결과이다. 여기서 두 단말 간의 탐색을 위해 주고받은 메시지의 수를 카운트하여 탐색에 성공하지 못한 경우는 오버헤드로 카운트하였다. 단말의 이동성을 10[m/sec]로 고정하고 분포된 D2D pairs의 수를 5~20개로 증가시켜가며 메시지의 수를 카운트 한 결과, D2D pairs의 수가 10개일 때는 오버헤드의 차이가 10개 정도였으나, D2D pairs의 수가 20개로 증가하면 랜덤한 기법의 오버헤드 크기가 제안하는 기법의 오버헤드 크기에 비해 약 1.5배 많은 차이를 보였다. 즉, 분석 결과 단말의 수가 적을 때는 차이가 크지 않지만, D2D pairs의 수가 증가함에 따라 제안하는 기법의 오버헤드의 크기가 랜덤 기법에 비해 확실히 적게 발생한다는 것을 확인할 수 있다.

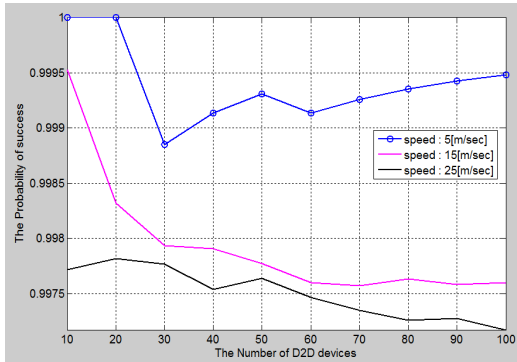
셀룰러 자원을 공유하는 D2D 통신에 있어 단말

탐색을 위한 오버헤드의 크기는 시스템 성능 측면에서 중요하게 작용한다. 제안하는 기법은 그래프에서도 확인할 수 있듯이 단말 탐색으로 인해 발생하는 오버헤드의 크기가 랜덤 기법과 비교하여 상대적으로 작아 D2D 단말 탐색으로 인한 오버헤드 발생을 줄여준다.

[그림 7]은 단말들의 이동 속도를 각각 5[m/sec], 15[m/sec], 25[m/sec]로 고정시키고 D2D 단말들의 수를 10, 20, ..., 100개의 밀도로 변화시켰을 때의 단말 탐색 확률이다. 단말을 5[m/sec]의 속도로 이동시키고 탐색 대상 단말의 수를 10~100개로 증가 시켰을 때는 탐색 확률의 변화가 크지 않음을 확인할 수 있다. 반면 단말을 15[m/sec]와 25[m/sec]의 속도로 이동시키고 단말의 수를 동일하게 증가시켰을 경우, 단말을 5[m/sec]로 이동 시켰을 때와 비교하여 상대적으로 탐색 확률이 작아짐을 확인할 수 있다. 그래프에서도 확인할 수 있듯이, 단말이 저속으로 이동할 때의 탐색 확률이 고속으로 이동할 때의 탐색 확률보다 높음을 확인할 수 있다.

LTE-Advanced 시스템 환경에서의 D2D 통신은 주로 이동통신기기를 대상으로 한다. 이는 단말의 이동이 주로 사람에 의해 발생함을 의미한다. 또한 D2D 통신은 대개 인구밀집도가 높은 곳에서 이루어진다. 이러한 이유로 D2D 단말 탐색에 있

어 단말의 이동 속도와 단말의 배치 수에 대한 비교는 반드시 고려되어야 할 척도이다. [그림 7]은 이에 대한 평가이며, 제안 기법은 단말의 이동 속도와 단말들의 밀집도에 따른 변화에도 탐색 결과가 우수함을 확인할 수 있다.



[그림 7] 단말의 이동 속도와 단말 수의 변화에 따른 탐색 확률

4. 결 론

LTE-Advanced 시스템의 대표 요소기술인 다중안테나 기술을 바탕으로 단일 사용자 단말 간에 빔포밍을 형성하여 D2D 단말을 탐색하는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 기지국과 단말 간의 1차 동기화와 두 단말 간 2차 동기화를 맞추므로 D2D 단말 탐색에서 문제시 되었던 탐색 신호의 시간 동기화 문제를 해결했으며, 성능 분석을 통해 제안하는 기법이 랜덤하게 단말을 탐색하여 통신하는 기존의 방식과 비교할 때, 단말 탐색 확률, 탐색으로 발생하는 오버헤드 수에서 월등한 성능을 보임을 확인하였다.

차후에는 제안한 단일 사용자 단말 탐색 기술을 토대로 다중 사용자 MIMO 기술을 통한 특정 다수 단말을 탐색하는 기법을 제안하고자 한다. 셀룰러 인프라가 보유하고 있는 정보 리스트를 활용함으로써 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐더러 불필요한 탐색 과정을 줄여 네트워크의 부하를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TSG-SA WG1 S1-113334(Intel), *Enabling proximity services in a LTE network under operator control*, Nov, 2011.
- [2] Fodor, G., E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklos, and Z. Turanyi, *Design aspects of network assisted device-to-device communications*, *IEEE Commun. Mag.*, Vol.50, No.3(2012), pp.170-177.
- [3] Huawei, *Future smartphone solution white paper*, Sep. 2012.
- [4] Laroia, R., J. Li, A. Jovicic, T. Richardson, and X. Wu, *Method and apparatus related to peer discovery and paging in peer to peer wireless communications*, *US patent #2009/0013081 A1*, Jan. 8, 2009.
- [5] Doppler, K., M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, *Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks*, *IEEE Commun. Mag.*, Vol.47, No.12(2009), pp.42-49.
- [6] Wu, X., S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, *FlashLinQ : A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks*, *Proc. IEEE Allerton Conf, Monticello, USA*, Sept, 2010.
- [7] 양모찬, 임이랑, 오선애, 김현민, 신오순, 신요안, "LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신 기술 동향, 차세대통신 시스템 및 요소기술 특집호", 『전자공학회지』, 제39권, 제11호(2012), pp. 27-28.
- [8] 3GPP TR 22.803, *Feasibility study for proximity Services(ProSe)*, V12.2.0, Jun, 2013.
- [9] Intel Corp., *Discussion on design options for D2D discovery*, R1-131924, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #73, May, 2013.

- [10] Ying Peng, Qiubin Gao, Shaohui Sun, *Discovery of Device-Device Proximity : Physical layer design for D2D discovery*, *IEEE D2D 2013-First International Workshop on Device-to-Device Communications and Networks*, (2013), pp.173-181.
- [11] Anastasios Thanos, Serveh Shalmashi, and Guowang Miao, *Network-Assisted Discovery for Device-to-Device Communications*, *IEEE Globecom 2013 workshop-International Workshop on D2D Communication With and Without Infrastructure*, (2013), pp.666-670.
- [12] LG Electronics, *Device discovery outside and partial network coverage*, *R1-132249, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #73*, May 2013.
- [13] Ericsson, S. and T. Ericsson, *Synchronization procedures for D2D discovery and communication*, *R1-132029, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #73*, May 2013.
- [14] 강길모, 김현민, 남종현, 신오순, "LTE-Advanced 기반 D2D 통신 기술 표준화 동향", 『한국전자과학회지』, 제24권, 제5호(2013), pp.52-64.
- [15] Kim, K. and J. Lee, *Antenna Grouping Technique for MIMO Beamforming System*, in *Proceedings of 42th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Oct. 2008.
- [16] Erik Dahlman, Stafan Parkvall, Johan Skold, 조봉열 역, 『4G LTE/LTE-A 이동통신시스템』, 홍릉과학출판사, 2013년 2월.
- [17] 조용수, 김재권, 양원영 공저, 『MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB』, 홍릉과학출판사, 2008.

◆ 저 자 소 개 ◆



김 향 미 (hmkim@gwnu.ac.kr)

현재 강릉원주대학교 일반대학원 컴퓨터공학 박사과정에 재학중이며, 충주대학교에서 공학사, 한라대학교에서 공학석사 학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 단말간 직접 통신, Massive MIMO, 차세대 셀룰러 통신, 무선 센서네트워크 등이다.



이 한 나 (hanna@gwnu.ac.kr)

현재 강릉원주대학교 일반대학원 컴퓨터공학 박사과정에 재학중이며, 강릉원주대학교에서 공학 석사 학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 무선메쉬 네트워크, 단말간 직접 통신, 라우팅프로토콜 등이다.



김 상 경 (skkim98@gwnu.ac.kr)

고려대학교에서 전자공학석사를 하고 동 대학에서 네트워크 전공으로 공학박사를 받았다. 1989년부터 2004년까지 주식회사 케이티에서 선임연구원(부장)으로 근무하였으며, 1994년부터 1995년까지 미국 Bellcore에서 TINA 국제콘소시움 Core Team Member로 활동하였다. 2004년부터 현재까지 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수로 재직 중이며, 주요 관심분야는 MANET, VANET, 센서네트워크, 무선모바일네트워크 등이다.