

LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신을 위한 섹터 기반 디바이스 디스커버리 기술

김향미*, 이한나*, 김상경°

Sector-Based Device Discovery Scheme for D2D Communication in LTE-Advanced Networks

Hyang-mi Kim*, Han-na Lee*, Sangkyung Kim°

요약

D2D 통신은 서비스의 속성에 따라 1:1 또는 1:N 통신을 형성하며 디스커버리 기술 또한 서비스의 속성에 따라 차별화되어야 한다. 본 논문에서는 재난이 발생한 LTE-Advanced 네트워크에서 1:N D2D 통신을 위한 섹터 기반의 D2D 디스커버리 기술을 제안한다. 섹터 기반의 디스커버리 기술은 빠른 시간 내에 다수의 단말(초난자)을 탐색해야 하는 재난 상황에서 커버리지를 확대할 수 있는 기술이다. 단일 셀 환경에서는 디스커버리 커버리지 확대 효과를 얻을 수 있으며, 다중 셀 환경에서는 섹터 기반의 커버리지 조절로 이웃한 링크와의 간섭 완화 효과를 얻을 수 있다. 성능 분석 결과 디스커버리 커버리지 확대로 다수 단말 탐색이 가능함은 물론 디스커버리 커버리지 조절로 간섭 완화 효과를 확인할 수 있었다.

Key Words : D2D communications, Device Discovery, Emergency Services, Interference, Power Control

ABSTRACT

According to the service attributes, D2D communications establish 1-1, or 1-n channels and require the differentiated device discovery technology. This paper proposes a sector-based device discovery mechanism for 1-n D2D communication scenario in LTE-Advanced networks that a disaster happened. Our proposal is a mechanism that can extend the coverage in a disaster situation which a number of devices(survivors) need to be discovered in a short time. In the single cell environment, a larger discovery coverage can be obtained, and in the multi-cell, it is possible to mitigate the interference with adjacent links due to sector-based coverage control. Through a set of simulations, we have confirmed that our proposal has better performance in the number of devices discovered and the interference than the legacy broadcast device discover mechanism.

1. 서론

D2D(Device-to-device) 기술은 기지국(BS: Base Station)이나 무선접속 AP(Access Point) 등의 네트워

크 인프라를 거치지 않고 인접한 단말들 간에 직접 통신하는 기술을 의미하며^[1-3], 다중 안테나 MIMO 기술과 더불어 LTE-A(LTE-Advanced) 이후 차세대 이동통신의 요소 기술이다.

* First Author : Gangneung-Wonju National University, hmkim@gwnu.ac.kr, 정회원

° Corresponding Author : Gangneung-Wonju National University, skkim98@gwnu.ac.kr, 종신회원

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

논문번호 : KICS3026-06-163, Received June 1, 2015; Revised July 10, 2015; Accepted July 22, 2015

D2D 통신을 위해서는 일반적으로 D2D 통신을 희망하는 단말이 대상 단말을 찾고, 탐색된 다수의 대상 단말 중에 데이터를 전송할 해당 단말과의 링크를 생성하여 연결된 두 단말 간 무선 링크를 통해 트래픽을 전송하는 과정을 거쳐 이루어진다^[4]. 디스커버리 기술은 D2D 통신 희망 단말이 해당 기지국의 셀 영역(단일 셀의 경우)과 인접한 셀 영역 내(다중 셀의 경우)에서 D2D 통신이 가능한 다수의 대상 단말을 탐색하는 기술이다. 이때 기지국의 자원은 적게 사용하고 짧은 시간에 대상 단말을 탐색함으로써 기지국과 단말의 부하를 최소화하는 기술이 요구된다. 최근 이러한 D2D 기술을 공공 안전 재난 통신에 이용하여 재난 재해 발생 시 이용하려는 움직임이 활발히 진행되고 있으며, 국내 통신사 및 단말기 제조업체를 비롯 해외에서도 D2D 디스커버리 기술 개발 및 상용화에 노력하고 있으며, 3GPP에서 올 연말까지 완료를 목표로 D2D 디스커버리 표준화 작업을 추진 중에 있다^[5].

[4]는 GPS 동기화를 통해 D2D 통신을 희망하는 단말들이 일제히 timing 신호를 수신하여 동기화되고, 일정 시간동안 모든 단말들은 탐색을 위한 신호를 방송하고 청취한다. [7]과 [8] 역시 GPS를 통한 위치 정보 기반의 단말 탐색 기법을 제안하였다. 그러나 단말 탐색은 단지 물리적으로 인접한 단말을 탐색하는 것이 아니며 인접한 D2D 통신이 가능한 단말을 탐색하는 것이다. 그러므로 모든 단말들이 GPS를 통해 동기화될 경우 재난 상황에서 기지국이 제 역할을 하지 못할 때에는 단말들이 동기화를 해결하지 못하여 탐색이 불가능한 단점으로 작용할 수 있다.

[9,10]은 D2D 희망 단말들이 탐색 신호를 전송하고 해당 대상 단말들이 신호세기를 측정하는 방법으로 인접성을 확인하는 방법을 제안하였다. [11]은 모든 단말이 같은 주기로 탐색 신호를 전송하는 것이 아니라 대상 서비스의 종류 및 탐색 상태에 따라 탐색 신호 주기를 달리하여 에너지 효율을 높이고자 제안하였다. [12]는 모든 단말들이 자신의 정보를 한번 이상 전송하고 이웃한 단말들이 이들 정보를 수신하여 모든 단말 간 거리 정보 파악으로 탐색이 이루어지는 것에 반해 단말들의 부분 정보만을 통해 탐색하는 방법으로 에너지 효율적인 측면에서 제안하였다. 그러나 탐색 신호의 동기문제는 여전히 해결되지 못하였으며, 기지국의 재난 상황에서 에너지 효율적인 측면은 적용이 필요하나 부분 정보만으로는 다수 단말을 정확하게 탐색하기 어렵다.

이에 본 논문에서는 재난 발생 시 활용될 수 있는 디스커버리 기술을 제안한다. 예를 들어 D2D 통신 주

체 단말을 소방차나 경찰차 등의 구조자로 이해할 수 있을 것이고, 인근에 분포되어 있는 다수의 조난자를 탐색 대상체로 이해할 수 있다. 이때 재난 상황이 발생하여 통신 인프라 일부를 사용할 수 없는 Partial Network Coverage 시나리오와 통신 인프라의 전체를 사용할 수 없는 Out-of-Coverage 시나리오로 구분하여 디스커버리 기법을 달리해야 할 것이다. Partial Network Coverage 상태에서는 단일 셀을 기준으로 해당 기지국으로부터 탐색을 위한 자원을 할당 받을 수 있다. 그러나 Out-of-Coverage 상태에서는 해당 기지국의 인프라를 사용할 수 없으므로 재난 상황 인근에 접해있는 인접한 기지국의 주파수 자원을 바탕으로 중첩되지 않는 자원을 이용해야 한다. 이때 셀 인접 지역의 간섭을 고려하지 않을 수 없다(다중 셀). 두 시나리오 모두 LTE-Advanced 시스템의 스마트 안테나의 빔포밍 기술을 이용하여 탐색할 수 있다. 이는 단일 셀에서는 디스커버리 커버리지 확장 효과를 얻을 수 있으며, 다중 셀에서는 간섭 완화 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 단일 셀 환경에서 Partial Network Coverage 상태의 네트워크 환경에 적용 가능한 디스커버리 기술과 다중 셀 환경에서 Out-of-Coverage 상태의 네트워크 환경에 적용 가능한 디스커버리 기술을 제안한다. 제안하는 디스커버리 기술을 위하여 단말기 측면에서의 안테나 빔포밍 기술이 요구된다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 연구에서 적용할 스마트 안테나 기술에 대한 간략한 소개와 섹터 기반 디스커버리 기술과 대비되는 전방향성의 디스커버리 기술에 대해 살펴보고, 3장에서 시스템 환경을 Partial Network Coverage와 Out-of-Coverage 상태로 나누어 각각 단일 셀과 다중 셀에서의 디스커버리 기술을 제안하고, 4장에서 시뮬레이션을 통한 비교 분석 후, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 스마트 안테나 빔포밍 기술

안테나 빔포밍은 배열된 안테나의 위상을 제어하여 원하는 방향으로 특정 신호를 송수신하는 안테나를 말하며, 원하는 방향으로의 특정 신호 송수신을 위해서는 PMI(Precoding Matrix Index), CQI(Channel Quality Indicator), RI(Rank Indicator) 등의 피드백 정보를 이용한 채널 추정을 필요로 한다. 이런 정보들을 바탕으로 하여 송수신 간의 적절한 프리코딩을 통해 독립된 빔을 제공하여 전파량을 원하는 방향으로

극대화하고 다른 방향에는 극소화하여 수신 신호의 잡음을 대폭 감소시킴으로써 통신 품질 향상과 통신 용량 극대화 등의 효과를 얻을 수 있다. 지금까지의 빔 형성 기술은 주로 기지국 중심에서 배열 안테나를 설치하고, 각 가입자에게 맞는 최적의 가중치를 독립적으로 계산하여 최적의 빔을 제공하는 것이다. 이미 LTE-A 시스템에서는 송·수신 모두에서 4×4이나 8×8의 다중 안테나를 정의하고 있으며^[13-14], 현재 개발되는 다수의 이동 단말에도 안테나가 2개씩 내장되어 빔포밍이 가능하다. 본 논문에서는 단말 측면의 스마트 안테나 빔포밍을 고려한다.

2.2 전방향성 디바이스 디스커버리

비콘이나 기지국으로부터 탐색 신호를 할당 받아 대상 단말을 탐색하는 디스커버리 기술은 자신의 탐색 커버리지 만큼 한 번에 전방향성의 탐색을 한다. 이때 인근 셀룰러 단말 간의 간섭을 유발할 수 있으며, 간섭의 원인을 인지하였다 하더라도 탐색 신호의 세기를 줄여 탐색하기란 어려운 일이다. 또한 기지국으로부터 인근에 분포된 다수의 단말에 대한 정보를 획득하여 특정 단말을 탐색할 경우 해당 단말만 탐색하면 되는 시나리오임에도 전체 영역에 대하여 탐색을 함으로써 대상 단말의 반대편에까지 간섭을 초래할 수 있다.

이처럼 전방향성 디스커버리 방식의 탐색은 그림 1과 같이 D2D 송신 단말(D1 : D2D transmitter 1, 이하 D1)이 자신이 최대 탐색 범위만큼 대상 단말을 한번에 탐색한다. 그림에서 보이는 바와 같이 D1의 탐색 범위는 반경이 r 이다.

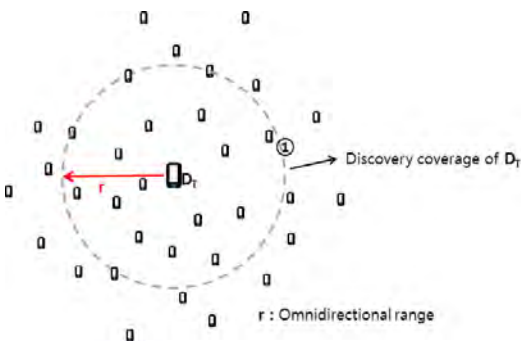


그림 1. 전방향성 디스커버리
Fig. 1. Omnidirectional Discovery

III. 섹터 기반 디스커버리 기술

3.1 커버리지 확대 디스커버리 기법

3.1.1 디스커버리 과정

Partial Network Coverage 시나리오는 그림 2와 같으며, 탐색 시나리오는 다음의 상황을 고려한다. 첫째, 재난 발생으로 기지국의 일부 기능이 마비되었다. 둘째, 기지국의 일부 기능만 이용 가능한 단일 셀 커버리지 환경을 고려한다. 셋째, D1은 기지국의 재난 상황 발생 이전에 기지국으로부터 셀룰러 자원을 할당 받은 셀룰러 단말이다.

그림 2에서 기지국(BS: Base Station)은 자신의 셀 반경을 120도 간격의 세 개의 섹터(BS_Sector1, BS_Sector2, BS_Sector3)로 나누어 셀룰러 통신을 한다. D1은 BS_Sector3에서 셀룰러 통신 링크로 통신을 하고 있던 중 기지국의 재난 상황을 감지한다. 동일 영역의 단말들은 기지국과의 시스템 특성 정보와 셀 특성 정보를 제공 받는 공통 채널(common channel)을 이용하기 때문에 D1은 D2D 단말 탐색을 위한 동기화가 필요하지 않다. 다만 D1은 공통 채널로 영역 내 단말들의 채널 정보를 획득하고, D1의 신호를 수신한 인근 단말들은 자신의 채널 정보를 D1으로 회신하는 방법을 통해 D1과 동기화가 확립된다. 이후 D1은 인근 단말들을 통제할 수 있다. D1은 S3에 속한 자신의 전체 섹터영역을 D1 자신을 기준으로 다시 세 개의 섹터(S1, S2, S3)로 나눈다. 이처럼 D1을 기준으로 세 개의 섹터로 구분하여 탐색하는 이유는 재난 상황에서 탐색 단말이 자신이 속한 셀 영역으로만 탐색을 한다면 탐색의 범위가 작아 많은 수의 대상 단말을 탐색하기 어렵고, 한 번에 전체 셀 영역으로 탐색 신호를 전송할 때 간섭의 영향에 더 많이 노

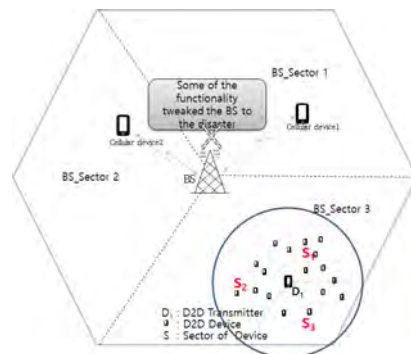


그림 2. Partial Network Coverage 시나리오
Fig. 2. Partial Network Coverage Scenario

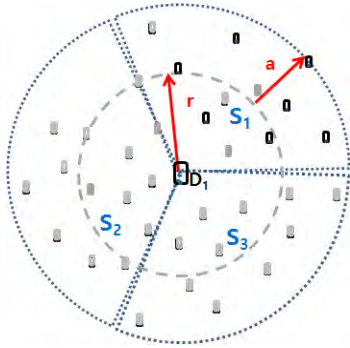


그림 3. 단말 탐색 모델
Fig. 3. Device Discovery Model

출되기 때문이다. 이후 D1은 회신된 각 단말의 채널 상태에 대한 피드백 정보(PMI, CQI, RI)를 바탕으로 송수신 간의 적절한 프리코딩을 통해 채널 추정 과정을 거친다. 이때 D1은 섹터 별로 하나의 빔포밍 형성을 위한 채널 추정 값을 선택한다. 섹터 별 채널 추정 값을 계산한 D1은 그림 3의 S1→S2→S3의 순서로 자신의 최대 전력을 이용하여 빔을 형성하고 대상 단말들을 탐색한다. 탐색된 정보는 D1의 탐색리스트로 관리하고, 일부 기능이 남아있는 기지국으로 보고한다.

3.1.2 디스커버리 확대

간섭을 고려하지 않은 탐색의 경우 그림 3과 같이 섹터 구분 없이 D1이 통신할 수 있는 범위는 r 이라고 하고, 빔포밍을 이용하여 단말을 탐색하였을 경우 확장된 탐색 범위를 a 라고 할 때 D1의 통신 범위(r_s)는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r_s = r + a \tag{1}$$

단말은 uniform하게 δ 의 분포도로 분포되어 있으며 전력 P 로 탐색할 수 있는 커버리지를 r 이라고 가정한다. 간섭을 고려하지 않은 경우 동일한 전력으로 섹터 기반 탐색할 때의 커버리지가 r_s 라면 식(2)가 성립한다.

$$\frac{\pi r^2}{P} = \frac{\pi (r_s)^2}{P} \times \frac{\theta}{2\pi} \tag{2}$$

θ 는 커버리지 r_s 의 한 섹터 크기를 의미하며, 섹터를 세 개로 나누어 탐색하므로 $\frac{\theta}{2\pi}$ 는 $\frac{1}{3}$ 이고, r_s 는 다음과 같다.

$$r_s = \sqrt{3}r \tag{3}$$

커버리지 확장으로 탐색되는 단말의 수는 다음 식과 같다.

$$A_r = \pi r^2 \delta \tag{4}$$

$$B_{r_s} = \pi (\sqrt{3}r)^2 \delta = 3\pi r^2 \delta \tag{5}$$

$$B_{r_s} - A_r = 2\pi r^2 \delta \tag{6}$$

식(4)는 전방향성의 탐색 기법으로 단말의 수이며, 식(5)는 섹터 기반 기법으로 탐색된 단말의 수이다. 식(6)에서와 같이 제한하는 방식의 탐색 기술이 $2\pi r^2 \delta$ 만큼 더 많은 단말을 탐색한다.

간섭 상황을 고려한 단말 탐색의 경우 전방향성의 디스커버리에서는 간섭 단말로 인한 탐색의 범위가 r 보다 작을 때는 x 범위만큼(x 는 간섭으로 줄어든 탐색의 범위) 탐색하고, r 보다 크더라도 최대 r 범위만큼 탐색한다. D2D 탐색 주체 단말을 중심으로 한 네트워크 크기의 반지름을 D 라고 할 때, 식(7)에서 첫 번째 항은 N 개의 간섭 단말이 중심으로부터 최소거리 x 에 분포할 확률이고, 두 번째 항은 r 보다 멀리 분포할 확률이다.

$$\int_0^r N \frac{2x}{D^2} \left(\frac{D^2-x^2}{D^2}\right)^{(N-1)} \pi x^2 dx + \int_r^D N \frac{2x}{D^2} \left(\frac{D^2-x^2}{D^2}\right)^{(N-1)} \pi r^2 dx$$

$$= \frac{D^2 - (1 - \frac{r^2}{D^2})^N (D^2 + r^2) N}{1 + N} \pi + D^{-2N} (-r^2 + D^2)^N \pi r^2$$

$$= \pi \left(\frac{D^2 - (1 - \frac{r^2}{D^2})^N (D^2 + r^2) N}{1 + N} + D^{-2N} (-r^2 + D^2)^N r^2 \right) \tag{7}$$

섹터 기반의 디스커버리에서는 간섭 단말로 인한 탐색의 범위가 r_s 보다 작을 경우는 전방향성의 디스커버리와 동일하게 x 범위만큼 줄여서 탐색하고, r_s 을 벗어난 범위에 간섭 단말이 있더라도 최대 r_s 범위만큼 탐색한다. 이때 탐색의 최소 범위와 최대 범위는 섹터 별로 간섭 단말이 중심으로부터 가장 가까운 곳에 위치하는 경우를 찾아 결정된다. 전방향성 탐색 방식에서는 최대 r 범위, 섹터 기반 탐색 방식에서는 최대 r_s 의 범위를 벗어나는 곳에 위치한 단말은 탐색 대상에서 제외되므로 탐색한 단말의 수는 식(7)을 이용하여 식(8)과 식(9)와 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \delta \times \frac{D^2 - (1 - \frac{r^2}{D^2})^N (D^2 + r^2) N}{1 + N} \pi \tag{8}$$

$$B_{r_s} = \delta \times \frac{D^2 - (1 - \frac{r_s^2}{D^2})^N (D^2 + r_s^2 N)}{1 + N} \pi \quad (9)$$

식(8)은 간섭 상황을 고려한 전방향성 방식의 단말 탐색 수이며, 식(9)는 간섭 상황을 고려한 섹터 기반의 단말 탐색 수이다.

D1의 셀 커버리지 전체를 한 번에 탐색한 경우와 비교하여 α 만큼의 커버리지 확대 효과를 얻고, 그만큼 많은 수의 단말을 탐색할 수 있다. D1이 α 만큼의 커버리지 확대 효과를 얻기 위해서는 인근 단말들로부터 얻은 채널 정보들을 바탕으로 빔형성을 위한 전송 전력을 예측할 수 있어야 한다. D1은 자신의 최대 전송 전력을 이용하여 인근 단말을 탐색하는데, 이때 D1의 최대 전송 전력(P_{max})은 송신 전력과 채널 이득을 이용해 식(10)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{max} = P_t \times G_c \quad (10)$$

여기서 P_t 는 D1의 송신 전력이고, G_c 는 D1과 인근 단말 간의 채널 이득 값(channel gain)이다. 결국 D1은 대상 단말들로부터 획득한 채널 정보를 바탕으로 P_{max} 를 이용하여 섹터별로 대상 단말을 탐색함으로써 α 만큼의 커버리지 확대 효과를 얻는다. 표 1은 전방향성 디스커버리와 섹터 기반 디스커버리의 자원 사용을 비교한 것이다.

자원 사용의 수는 공통 채널을 통한 동기화 후 탐색을 시작하므로 두 방식 모두 동일하며, 자원 할당을 위한 메시지 오버헤드 역시 섹터 기반 기법에만 추가적으로 발생되지는 않는다. 이는 빔포밍 형성을 위한 정보 획득과정까지는 두 방식이 동일하기 때문이다. 탐색을 위한 소요시간은 제안 방식이 기존 방식에 비해 더 소요되지만, 방사빔의 송출시 시간 지연 최소화를 위하여 최소한의 시간차를 두고 송출하기 때문에 3배보다는 작으며 탐색에 소모되는 시간은 몇 ms정도

표 1. 섹터 기반 탐색 기법의 오버헤드
Table 1. Overhead for sector-based discovery scheme

| Division | | Omni-directional | Sector-based |
|-----------|-------------------------|------------------|--------------|
| resource | number of use | same | same |
| | overhead for allocation | same | same |
| discovery | time for discovery | t | $\approx 3t$ |
| | power | P | $3P$ |

이다. 제안 기법에서는 섹터를 셋으로 나누고 각 섹터에 기존 방식과 동일한 P 의 전력으로 탐색하기 때문에 3배의 전력이 요구된다. 재난 상황에서 에너지 손해를 감수하더라도 다수의 조난자를 탐색하는 것에 의미가 있다.

3.2 간섭 제어를 통한 디스커버리 기법

Out-of-Coverage 시나리오는 그림 4와 같으며, 재난 상황 발생 시 적용 가능한 탐색 시나리오로 다음 상황을 고려한다. 첫째, 재난상황 발생으로 기지국(BS1)의 전체 기능이 마비되었다. 둘째, D1은 BS1에 속해 있는 D2D 단말이다. 셋째, D1은 D2D 디스커버리 완료 후 기지국으로부터 D2D 통신을 위한 자원을 할당 받아 D2D 통신을 하던 중 기지국의 재난 상황을 감지하거나 D1은 D2D 디스커버리 완료 전 BS1의 재난 상황을 감지한다.

세 개의 기지국(BS1, BS2, BS3)이 인접한 다중 셀 환경에서 각 기지국은 자신의 셀 반경을 120도 간격의 세 개의 섹터로 나누어 셀룰러 통신을 하며 첫 번째 기지국에서는 240~360도 범위의 섹터에서 D2D 통신 링크(DL1: D2D Link 1)가 형성되어 있다. 두 번째와 세 번째의 섹터에서도 위 그림 4와 같이 D2D 통신 링크(DL2, DL3)가 각각 형성되어 있다고 가정한다. DL2와 DL3 역시 기지국의 셀 반경 섹터 구분과 마찬가지로 자신의 셀 반경을 세 개의 섹터(D1의 경우: S1, S2, S3)로 구분하여 D2D 통신을 한다. 이때 그림 5에서 보는 바와 같이 BS1에서 재난 상황이 발생했을 때 다음 절의 두 가지 경우로 나누어 탐색을 시행한다.

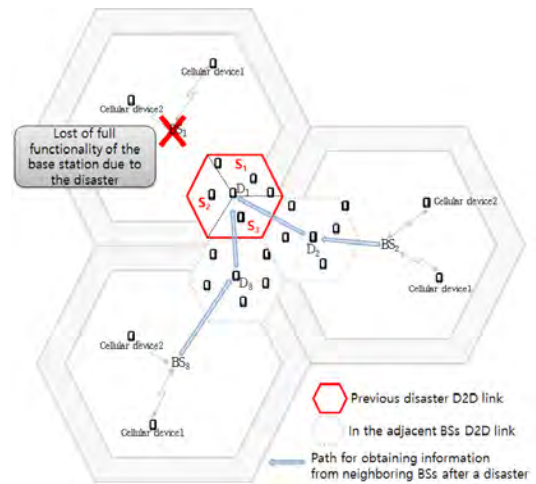


그림 4. Out-of-Coverage 시나리오
Fig. 4. Out-of-Coverage Scenario

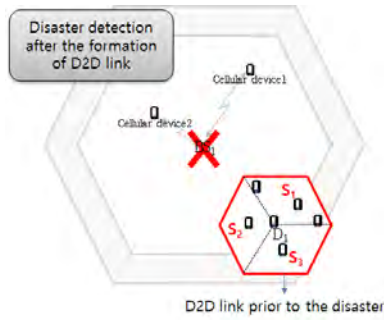


그림 5. Out-of-Coverage 탐색 모델
Fig. 5. Out-of-Coverage Discovery Model

3.2.1 D1이 D2D 링크 형성 후 기지국의 재난 상황 감지

D1이 D2D 링크를 형성한 이후 BS1의 재난상황을 감지했다는 것은 D1이 D2D 통신을 위한 자원을 기지국으로부터 할당 받았다는 것을 의미하며, 이와 같은 경우에는 그림 2와 같은 단일 셀 환경(Partial Network Coverage 시나리오)에서의 탐색을 시행한다. 즉, D1은 이미 할당 받은 BS1의 자원을 이용하여 다음의 과정으로 탐색한다. D1은 기지국으로부터 D2D 통신을 위한 자원을 할당 받아 통신을 하고 있는 상태로 기지국에 속한 단말들은 공통 채널로 동기화가 되어 있다. 단말은 Partial Network Coverage 시나리오의 탐색과 동일한 과정으로 탐색한다.

순차 탐색 중 그림 6과 같이 D1의 두 번째 섹터(S2)에서 셀룰러 통신을 하고 있는 단말과 간섭이 발생한 상황을 고려할 수 있다. 간섭은 셀룰러 단말 C1의 불안정한 수신 신호 세기로 예측된다. 즉, C1의 수신 신호 세기(RSSI : Received Signal Strength Indication)가 목표 값에 미치지 못하는 경우 시스템 불안정 및 장애물로 인한 간섭을 예측할 수 있다. 이처럼 S2 섹터에서 셀룰러 통신을 하고 있는 C1 단말과의 간섭이 발생할 경우, 간섭을 유발한 셀룰러 단말 C1은 RSSI와 자신의 위치 정보를 D1으로 송신한다. 이를 수신한 D1은 Friis 공식(식(11))을 이용해 C1과의 거리(식(12))를 알 수 있다.

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) \text{ [dB]} \quad (11)$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}} \quad (12)$$

D1은 S1과 S3에 대해서는 P_{\max} 로 탐색하고 S2에 대해서는 계산한 거리와 위치 정보를 바탕으로 전력

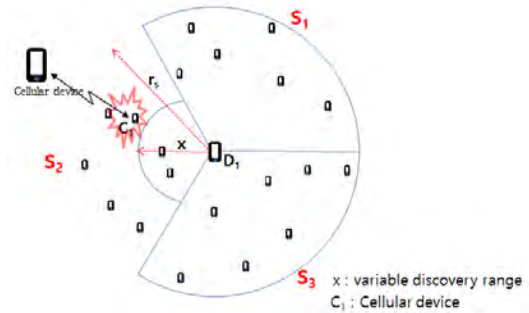


그림 6. Out-of-Coverage 간섭 시나리오 I
Fig. 6. Out-of-Coverage Interference Scenario I

의 세기를 C1의 간섭의 영향을 받지 않는 r 크기로 줄여 탐색한다. 이때 D1의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 값(식(13))과 D1의 타겟 SINR 값의 허용 범위를 식(14)와 같이 조절함으로써 D1의 전송 파워를 제어할 수 있다.

$$SINR_{D1}^{C1} = \frac{P_{D1}}{P_{C1} G_{C1} N_0} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \frac{P_{D1} \times G_{C1}^{D1} \times G_{D1}}{N_0} \quad (13)$$

$$SINR_{D1} \geq K_{D1} \quad (14)$$

K 는 SINR의 허용 한계치이며 D1의 한계치는 K_{D1} 으로 표현한다. Hata 모델^[15]에서 N_0 는 0~3까지 4단계로 정의하고 있다. 0단계(즉, $N_{Level} = 0$)는 잡음이 전혀 없는 상태도 통신이 원활이 이루어지는 상태를 뜻하며, 3단계($N_{Level} = 3$)는 잡음으로 인해 통신이 불가능한 상태를 의미한다. 통신이 가능한 정도의 잡음 수준으로 정의한 N_{Level} 가 2일 때의 2단계를 한계치로 보고 그때의 SINR을 K_{D1} 으로 적용한다. 즉, D1은 S2 섹터에 대하여 식(14)의 조건으로 전력을 조절하여 단말을 탐색한다. RSSI 값과 위치 정보만으로 전력 제어 기술을 적용할 수 있음에도, 위의 식(13)과 식(14)를 적용하는 것은 단말의 수신 신호 강도(RSS: Received Signal Strength)는 시스템의 상태나 장애물 등의 간섭의 정도에 따라 크게 차이가 나기 때문에 RSSI 값만으로 거리를 예측하는 것은 오차 범위가 커질 수 있다. 또한 주체 단말이 속한 기지국의 기능이 완전히 상실된 재난상황에서의 전력 제어를 위한 신뢰성 있는 예측이 어렵기 때문이다. 그러므로 SINR과 P_{\max} 를 통한 거리 한계치를 이용한 전력 제어 방법을 수행한다.

탐색이 완료되면 섹터별 탐색된 정보는 D2D 링크

형성에 사용 가능하도록 D1의 탐색리스트로 관리한다. 제어 기능을 상실한 재난상황에서도 D1은 독립적으로 인근 다수 단말들을 탐색할 수 있다.

3.2.2 D1이 D2D 링크 형성 전 기지국의 재난 상황 감지

그림 4의 Out-of-Coverage 시나리오에서 BS1에 속한 D1이 D2D 링크를 형성하기 전 BS1의 재난 상황을 감지했다는 것은 D1이 D2D 통신을 위한 탐색용 자원은 물론, 링크 형성 후 통신을 위한 자원도 BS1으로부터 할당 받지 못한 초기 상태에서 재난상황을 감지했다는 의미이다. 이러한 상황에서는 다중 셀 환경에서 인근 기지국의 자원을 빌려 대상 단말을 탐색하는 다음의 디스커버리 기술이 요구된다.

D1은 자신의 섹터(S3: 240~360도 범위)를 향해 최대 전력을 이용해 제어 신호를 전송한다. 이때 제어 신호는 인근 BS2와 BS3에 속한 D2D 링크의 주체 단말인 D2와 D3가 수신한다. 제어 신호를 수신한 D2와 D3는 각각 BS2와 BS3에 탐색용 자원을 요청하며, 탐색 자원 요청 신호를 받은 BS2와 BS3는 자신의 셀 영역에 할당된 셀룰러 자원과 D2, D3에 할당된 자원 이외의 자원을 D1을 위한 자원으로 할당하여 D2와 D3를 통해 전송한다. 인접 기지국과의 셀 간의 간섭이 존재하지 않는 상황이라면 D1은 인접 기지국으로부터 할당 받은 자원으로 III.1.가 절의 디스커버리 기술로 탐색한다. 그러나 D2와 D3의 D2D 통신용 자원과 간섭이 발생한다면, 세 번째 섹터 S3 탐색 시 그림 7과 같이 BS2와 BS3간에 셀간 간섭 상황을 고려할 수 있다. 이때는 D1의 S1과 S2는 정상적으로 최대 전력으로 빔을 형성하여 다수의 단말을 탐색할 수 있으나, S3 섹터의 경우 빔포밍 기술을 이용한 전력 제어 기법으로 해당 섹터에 대한 탐색의 커버리지를 조절하여 탐색할 수 있다.

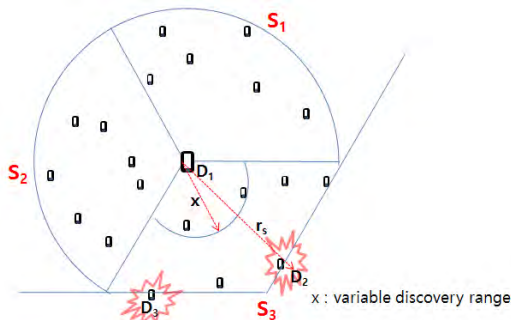


그림 7. Out-of-Coverage 간섭 시나리오 II
Fig. 7. Out-of-Coverage Interference Scenario II

D1의 S3 섹터에서의 간섭은 BS1과 BS2와 BS3의 셀 음영지역에서 D2D 통신을 하는 D2와 D3 링크로 인해 발생된다. D1은 S3 섹터에 대한 단말 탐색을 위해 D2, D3와의 거리 및 SINR을 식(12), 식(15)와 식(16)을 이용해 계산한다.

$$SINR_{D_1}^{D_2} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \frac{P_{D_1} \times G_{D_2}^{D_1} \times G_{D_1}}{N_0}, \tag{15}$$

$$SINR_{D_1}^{D_3} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \frac{P_{D_1} \times G_{D_3}^{D_1} \times G_{D_1}}{N_0} \tag{16}$$

D1은 D2와 D3와의 허용 한계치 K_{D_2} 와 K_{D_3} 을 결정하고 식(17)의 조건을 충족하는 전력으로 탐색을 실시하며, N_0 는 III.1절과 동일한 2단계로 적용하여 계산한다.

$$SINR_{D_1} \geq K_{D_2} \quad \text{and} \quad SINR_{D_1} \geq K_{D_3} \tag{17}$$

전력 제어를 통해 S3 섹터까지 모든 탐색 과정을 마친 D1은 탐색 정보를 자신의 탐색 리스트에 갱신하며, D2와 D3는 D1에 대한 정보를 자신의 BS2와 BS3로 보고해 이후 자원 할당에 참고할 수 있도록 한다. 다중 셀 환경에서의 재난 상황 시 셀 간 인접 음영 지역의 간섭을 고려해 단말을 탐색할 수 있으므로 시스템 효율성에서 뛰어나며, 탐색의 신뢰성도 높다.

IV. 성능 평가

제안 기술의 성능평가를 위하여 실제 환경을 가장 잘 설명할 수 있는 Hata 모델을 적용하여 Matlab으로 시뮬레이션을 하였다. LTE-Advanced 시스템의 단일 셀과 다중 셀 환경을 고려하여 전방향성의 디스커버리 방식과 비교 분석하였다. 시뮬레이션 환경은 표 2와 같으며, 시뮬레이션 모델은 단일 셀의 경우 그림 2와 같고 다중 셀의 경우는 그림 4와 같다. 셀룰러 단말을 40개~200개까지 40개씩 증가하며 uniform하게 분포시키고, 모든 셀룰러 단말에 대해 Random waypoint 모델[16]로 5m/sec의 이동성을 갖도록 하였다. 이동 후 1초 정지하고 다시 동일한 속도로 반복한다. Resource block bandwidth, Resource block 당 서브캐리어의 수, 할당 주파수 등은 LTE 환경에서의 표준치를 근간으로 하였다. Hata 모델을 바탕으로 도심 환경에서의 경로손실 모델을 사용한다. 도심(urban) 환경에서의 경로손실 모델 $PL_{Hata,U}(d)$ 는 식(18)과 같이 주어진다.

$$PL_{Hata,U}(d)[dB] = 69.55 + 26.16 \log f_c - C_{Rx} + (44.99 - 6.55 \log h_{Tx}) \log d \quad (18)$$

f_c 는 반송파 주파수이며, 송신단과 수신단의 거리 d , 송신 안테나의 높이 h_{Tx} , 수신 안테나의 높이 h_{Rx} , C_{Rx} 는 수신 안테나의 상관 계수로 식(19)와 같이 주어진다(거리 d 의 단위는 km , 주파수는 MHz , 높이의 단위는 m).

$$C_{Rx} = 0.8 + (1.1 \log f_c - 0.7) h_{Rx} - 1.56 \log f_c \quad (19)$$

위의 식(18)과 식(19)는 기지국과 단말 간의 모델이므로 단말이 탐색하는 제안 방식에서는 송수신 안테나의 높이를 각각 1.5m, 거리 d 를 80m로 하여 시뮬레이션을 하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation Parameters

| Parameter | Values |
|--|-----------------------|
| Cell radius | 250m |
| Number of cellular users | 40, 80, 120, 160, 200 |
| User speed | 5(m/sec) |
| Path Loss Model | Hata |
| Resource block bandwidth | 180kHz |
| Number of subcarriers per resource block | 12 |
| Spectrum allocation | 20MHz |

4.1 커버리지 확대 디스커버리

단일 셀 환경에서의 디스커버리 기법은 커버리지 확대 측면에서 분석하기 위해 간섭을 고려하지 않고 진행하였다.

기지국 셀의 S3 섹터 내에 D2D 링크 형성을 위한 주체 단말을 고정시키고, 단말의 분포수를 40~200개로 변화시키며 탐색한 결과 그림 8과 같은 결과를 얻었다. 이때 D1의 탐색 전력은 식(10)의 최대 전송 전력만으로 탐색하였다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 단말의 분포수가 적을 때는 탐색 단말 수의 차이가 크지 않지만, 단말의 분포수를 증가시키며 따라 탐색 단말의 수도 점차 증가하며 차이를 보인다.

4.2 간섭 제어를 통한 디스커버리

S2 섹터에 간섭을 발생시키는 단말 5개를 생성하였다. 식(10)의 최대 전송 전력, 식(11)과 식(12)를 이용한 간섭 단말의 거리 측정, D2D 단말과 간섭 유발

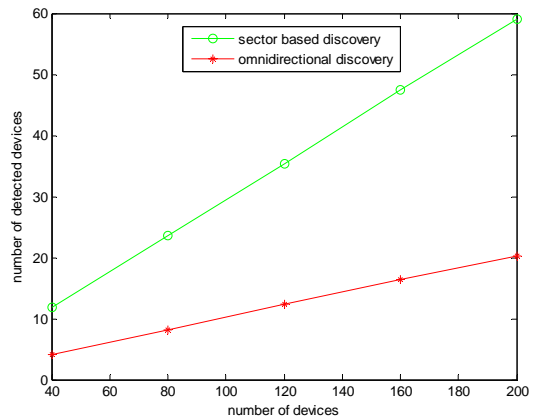


그림 8. 커버리지 확대 단말 탐색
Fig. 8. Device Discovery of a larger Discovery Coverage

셀룰러 단말 간의 SINR 및 SINR의 허용 한계치 등을 바탕으로 탐색을 수행하였다.

그림 9는 간섭 제어를 통한 단말 탐색의 수를 나타내는 것이다. 기존 방식은 D2D 탐색 주체 단말을 기준으로 단말의 전체 셀 영역으로 탐색을 시도하는 반면 제안하는 디스커버리 기술은 D2D 탐색 주체 단말이 자신의 전체 셀 영역을 다시 3개의 섹터(기지국의 섹터 구분과 동일)로 나누어 탐색한다. 두 번째 섹터에 임의의 간섭 환경을 생성하여 기존 기법은 그대로 탐색을 진행하고, 제안하는 기법은 S2에 대하여 전력을 제어하여 탐색의 커버리지를 일정 부분 감소하여 탐색하였다.

그래프에서 확인할 수 있듯이 40개의 단말이 분포된 환경에서부터 꾸준한 증가 차이를 보이고 있다. 200개의 단말이 분포된 동일한 환경에서 간섭을 고려하지 않은 단일 셀 환경의 탐색 결과(그림 8)와 비교할

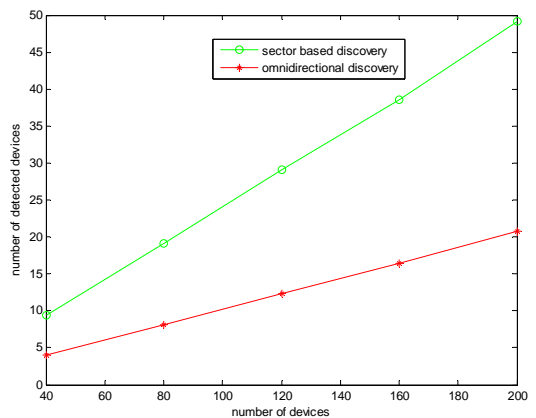


그림 9. 전력 제어 단말 탐색
Fig. 9. Device Discovery of Interference control

때 탐색된 단말의 수는 줄었지만, 비교 방식에 비해 다수의 단말을 찾은 것을 확인할 수 있다. 이는 S1과 S3 섹터에 적용된 빔포밍을 이용한 탐색으로 커버리지가 확대되었고, S2 섹터에 대하여 기존 방식의 범위 정도의 탐색 범위를 확보하였기 때문으로 분석된다.

그림 10은 첫째 상황과 동일한 간섭 상황에서 탐색된 단말의 D2D pair간 기존 방식과 제안하는 방식의 링크(채널) 품질을 측정하기 위하여 채널 용량(식(20))을 계산한 결과이다.

$$C_{D2D} = B \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (20)$$

그림 11은 두 번째 성능 분석에서 얻은 결과의 전체 채널 용량을 계산한 결과이다. D2D pair간 개별 채널 용량이 아닌 전체 D2D pair로 설정된 상황에서

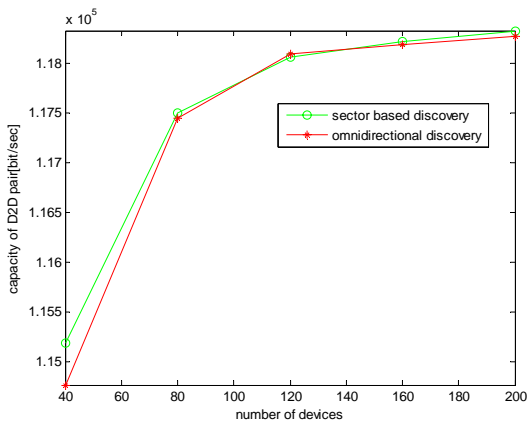


그림 10. D2D Pair의 채널 용량
Fig. 10. Capacity of D2D Pair

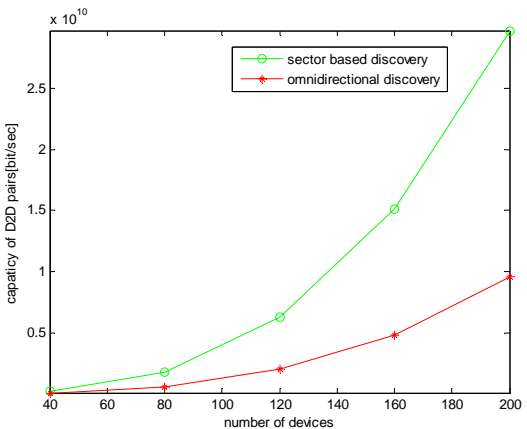


그림 11. D2D Pairs의 전체 채널 용량
Fig. 11. Total Capacity of D2D Pairs

의 total capacity 이기 때문에 일정한 증가 현상을 보임을 예측할 수 있다. 또한 예측과 동일한 결과를 확인할 수 있다.

V. 결 론

D2D 통신을 위한 단말 탐색은 기지국의 부하량을 줄여주고, 시스템 성능을 향상시키기 위한 기본이 되는 과정이다. 본 논문에서는 재난이 발생한 LTE-A 네트워크에서 D2D 통신을 위한 섹터 기반의 D2D 디스커버리 기술을 제안하였다. D2D 통신 희망 단말은 자신의 셀 영역을 기지국과 유사한 세 개의 섹터로 나누어 순차적 단말 탐색을 시행한다. 제안하는 방법에 따라 단말을 탐색함으로써 셀룰러 링크로부터 받는 간섭은 물론 D2D 통신 희망 단말이 일으킬 수 있는 간섭을 고려한 단말 탐색이 가능하며, 순차 탐색을 통하여 간섭을 예측하여 탐색의 범위를 유동적으로 조절함으로써 탐색의 범위를 넓혀 간섭의 발생에도 다수의 단말 탐색이 가능했다. 시뮬레이션 결과 제안하는 논문이 단말 탐색의 수는 물론 탐색된 D2D pair의 채널 용량을 기준으로 한 성능 평가에서도 기존 방식에 비해 우수함을 확인하였다.

향후 D2D 통신에서 자원 효율을 향상시키기 위한 전력 제어 기법과 간섭 완화를 위한 자원 할당 기법을 연구하고자 한다.

References

- [1] K. Doppler, 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, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [2] H. N. Lee, H. M. Kim, and S. K. Kim, "Improvement of computational complexity of device-to-device(D2D) resource allocation algorithm in LTE-advanced networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 4, pp. 762-768, Apr. 2015.
- [3] 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.
- [4] X. Wu, 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,” in *Proc. IEEE Allerton Conf.*, Monticello, USA, Sept. 2010.

[5] 3GPP TR 22.803, *Developments in 3GPP-release 12 and beyond*, May 2014.

[6] Alcatel-Lucent, *L2 addresses for public safety D2D discovery and communication user data*, R2-140723, 3GPP TSG-RAN WG2 Meeting #85, Feb. 2014.

[7] J. E. Korneluk, S. E. Dubin, S. A. Patel, A. Rodrigues, and J. T. Walsh, *Switching a call from a network assisted communication mode to a direct communication mode*, US Patent no. 7,164,930, Dec. 2004.

[8] Z. Li, L. Sun, and E. C. Ifeachor, “Range-based mobility estimations in MANETs with application to link availability prediction,” in *Proc. IEEE ICC 2007*, pp. 3376-3382, Glasgow, Scotland, Jun. 2007.

[9] P. Kumar, L. Reddy, and S. Varma, “Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in wireless sensor networks,” in *Proc. IEEE WTSN*, pp. 1-4, Allahabad, India, Dec. 2009.

[10] 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.

[11] K. Doppler, C. Ribeiro, and J. Knecht, “Advanced in D2D communications: Energy efficient service and device discovery radio,” *IEEE Wirel. VITAE*, pp. 1-6, Mar. 2011.

[12] G. Yeo, S. Chae, M. Rim, C. G. Kang, C. Yeh, and J. Ahn, “Discovery of proximate devices with partial information for device-to-device communication systems,” *J. KICS*, vol. 38B, no. 05, pp. 328-336, May 2013.

[13] K. Kim and J. Lee, “Antenna grouping technique for MIMO beamforming system,” in *Proc. 42nd IEEE Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput.*, pp. 393-397, Pacific Grove, CA, Oct. 2013.

[14] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *LTE/LTE-Advanced for mobile broadband*,

Elsevier Inc., pp. 83-87, 2011.

[15] M. Hata, “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

[16] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, “A survey of mobility models for ad hoc network research,” *Wirel. Commun. & Mob. Comput. (WCMC), Special Issue: Mobile Ad hoc Networking - Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, Aug. 2002.

김 향 미 (Hyang-mi Kim)



1996년 2월 : 충주대학교 전자통신공학과 졸업
 2009년 8월 : 한라대학교 정보통신공학 석사
 2010년 3월~현재 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> D2D Communications, Massive MIMO, Wireless Sensor Network

이 한 나 (Han-na Lee)



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

<관심분야> Handover, D2D Communications, Wireless Mesh Network

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 컴퓨터공학과 교수

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