

## 단말의 통신 반경 변화에 따른 포함 확률 성능 분석

한세호 · 이호원\*

### Performance Analysis of coverage probability according to transmission range of devices

Seho Han · Howon Lee\*

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 기지국의 도움없이 인접한 기기 간에 직접 통신을 수행하는 D2D 단말에서 발생한 데이터를 인접한 D2D 단말로 릴레이하는 환경을 가정하였다. 이러한 환경에서 데이터를 수신한 전체 단말의 수를 최대화하기 위하여 모든 데이터 수신 단말들이 자신의 전송 범위 내의 인접 단말들에게 데이터를 릴레이하는 Epidemic 라우팅을 고려하였다. 또한, 다양한 네트워크 환경을 고려하여 특정 지역에 다양한 밀도로 단말이 밀집되어 분포하는 상황에 대한 MATLAB 시뮬레이션을 수행하고, 이를 기반으로 D2D SD의 전송 범위와 이 데이터를 릴레이 하는 다른 D2D 단말들의 전송 범위를 파라미터로 설정하여 Epidemic 라우팅의 데이터 확산 성능에 대한 비교 분석을 수행하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, by using D2D communications that perform direct communications among devices within small transmission range of each device without base station, we assume that a device generates and transmits data packets to other proximate devices and the devices which receive the data packets relay those to other adjacent devices. To maximize the total number of devices which successfully receive data packets, Epidemic routing protocol is considered in this paper. In Epidemic routing protocol, all devices which received data packets try to relay the packets to other adjacent devices. We assume various network environment where devices are densely distributed in specific area(crowded area). In this environment, D2D SD can be a source node and D2D devices can be relay nodes. By setting transmission range of D2D SD and D2D devices as parameters, we analyze performance results of coverage probability of Epidemic routing protocol through intensive simulations.

**키워드** : 디바이스 간 통신, D2D 데이터 확산, 밀집도, Epidemic 라우팅 프로토콜

**Key word** : D2D communication, D2D Data Dissemination, Density, Epidemic Routing Protocol

Received 16 August 2016, Revised 18 August 2016, Accepted 26 August 2016

\* Corresponding Author Howon Lee(E-mail:hwlee@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5198)

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.10.1881>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

최근, 모바일 사용자 수의 급증, 데이터 트래픽을 사용하는 스마트 디바이스 수의 증가, 그리고 비디오와 같은 고용량 데이터의 사용의 증가로 인하여 트래픽이 기하급수적으로 급격히 증가하고 있다. 이러한 성향을 기반으로 CISCO 사에서는 자체조사를 통해 2020년까지 매월 소비되는 트래픽의 양이 2015년 대비 10배 이상 증가할 것으로 예측하고 있다[1].

이러한 전 세계에 걸친 트래픽 양의 증가에 대한 대안으로 기지국을 이용하지 않고 단말들끼리 직접적으로 통신을 수행하는 Device-to-Device(D2D) 통신 기술이 각광받고 있다[2]. D2D 통신 환경에서는 기지국을 이용하지 않기 때문에 기존의 통신 방식에서 기지국에 집중되는 트래픽을 분산적으로 처리할 수 있다. 또한, 두 단말이 상호간에 물리적으로 인접해 있기 때문에 저전력으로 빠른 통신을 수행하며 통신 스펙트럼에서의 효율성 또한 확보할 수 있는 장점이 있다.

기존 연구에서는 단말들이 밀집된 지역을 광고 릴레이 전송을 위한 목표지역으로 설정하고 섹터를 나누거나 클러스터링 알고리즘을 이용하여 이 목표지역들을 그룹화하고, 이를 기반으로 각각의 그룹 당 광고 전송 루트를 확립하는 방식이 제안되었다[3, 4]. 그리고 이 방식을 통해 D2D 통신의 종류 중 하나인 WiFi Direct를 이용한 소셜 커머스 D2D 광고 전파 알고리즘과 이를 통한 D2D 릴레이 전송을 수행하는 방식이 제안되었다. 하지만 릴레이 시 각 그룹 당 하나의 단말만 선택하여 광고를 전송하기 때문에 전송 루트근처에 분포되어 있지 않은 단말은 광고 전송에서 제외될 가능성이 크며, 단말 분포에 따라 전송 루트에 릴레이할 단말이 없어, 광고가 목표지역에 도달하지 못하고 전송 도중에 종료되는 경우가 발생한다.

이를 해결하기 위해 D2D 전송 범위 내 모든 단말에 데이터를 전송하는 Epidemic Routing Protocol을 고려하였고, 이를 통해 얼마나 많은 단말이 데이터를 수신하였는가를 확인하는데 이용한 포함 확률(Coverage Probability, 데이터를 받은 단말 수/전체 단말 수)과 이 값의 특정 값 이상을 확보하는데 필요한 최소 D2D 단말의 전송 범위를 분석하였다[5]. 본 논문에서는 보다 다양한 환경에서 이 성능을 비교 분석함으로써 Epidemic Routing Protocol의 실제 통신 환경으로의 적

용 가능성과 그 효율성을 기대할 수 있음을 확인한다.

본 논문 구성의 II장에서는 D2D 데이터 릴레이에 사용된 Epidemic Routing Protocol의 동작 방식에 대해 기술한다. III장에서는 II장에서 소개한 Epidemic Routing Protocol을 적용한 데이터 전송 방식에 대해 자세히 기술하고, IV장에서는 III장에서 소개한 데이터 전송방식을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 다양한 단말 분포 환경에서의 성능을 비교분석한다. 마지막으로, V장에서는 논문에 대한 결론을 서술한다.

## II. Epidemic 라우팅

본 논문에서는 D2D 통신을 위한 데이터 확산 방식에 적용하기 위해 Epidemic Routing Protocol 방식을 사용하였다 [6]. Epidemic Routing Protocol은 재난 상황이나 군 지역과 같은 기본적인 통신 인프라(eg., 기지국)가 존재하지 않는 상황이나 모바일 센서 네트워크와 같은 애드혹 네트워크 환경에 적용하기 위하여 고안된 방식이다. 이 방식의 일차적인 목적은 전송 범위가 닿지 않는 상황에서 어떤 특정 노드로 메시지를 전송하려고 할 때 높은 확률로 목표 단말로 메시지를 전송하는 것이다. 그 외에 전반적인 목표는 자신의 주위 단말들에게 메시지를 전송함으로써 메시지 전송률을 최대화하고 메시지 전송 지연을 최소화하며 동시에 메시지 발송 시 소비되는 시스템 리소스를 최소화하는 것이다.

그림 1은 Epidemic Routing Protocol을 통해 통신이 수행되는 하나의 예이다. 그림1(a)에서 메시지를 생성한 소스 노드 S가 자신의 전송 범위 내에 위치한 C1, C2 노드들에게 메시지를 전송한다. 그림1(b)에서는 그림 1(a)로부터  $t_2-t_1$ 만큼의 시간이 지나 메시지를 전송 받았던 C2 노드가 자신의 전송 범위 내에 들어온 노드 C3로 자신이 받았던 메시지를 전송하고 노드 C3가 다시 노드 D로 자신이 받았던 메시지를 릴레이 하는 모습을 보여준다.

각 노드들은 자신이 가장 최근에 연결되었었던 한 노드의 캐시를 저장하여 반복적인 통신 연결을 방지하고 각각 자신들이 가진 메시지에 대한 summary vector를 저장하여 동일한 메시지 전송의 수행을 방지한다.

그림 2는 Epidemic Routing Protocol을 적용한 노드

A와 노드 B가 summary vector를 이용해 메시지 교환을 수행하는 모습을 보여준다. 과정은 다음과 같다.

- 1) 일단 노드 A와 노드 B가 서로 전송 범위 내에 위치되며 통신 연결을 수행한다.
- 2) 노드 A가 노드 B로 자신이 가지고 있는 메시지에 대한 summary vector,  $SV_A$  를 전송한다.
- 3) 노드 B가 수신 받은  $SV_A$  와 자신의 summary vector 인  $SV_B$  의 논리 연산을 통해 두 summary vector의 차집합을 구하여 노드 B가 가지고 있지 않은 메시지를 판단한다.
- 4) 노드 B가 자신이 가지고 있지 않은 메시지를 요청하는 Request를 노드 A에게 송신한다.
- 5) 노드 A가 요청받은 메시지를 노드 B로 전송한다.
- 6) 노드 B가 새로운 노드와 접촉하게 되면 자신이 받았던 메시지를 위 과정의 반복을 통해 릴레이 한다.

Epidemic Routing은 이러한 과정을 통해 통신이 연결되는 모든 노드에게 전염병이 전파되어 나아가는 것과 같이 메시지 전송을 수행하는 방식이며 본 연구에서는 데이터 확산 방식으로 이를 사용하기 위해서 브로드캐스트 모드를 사용하였다고 가정한다[6].

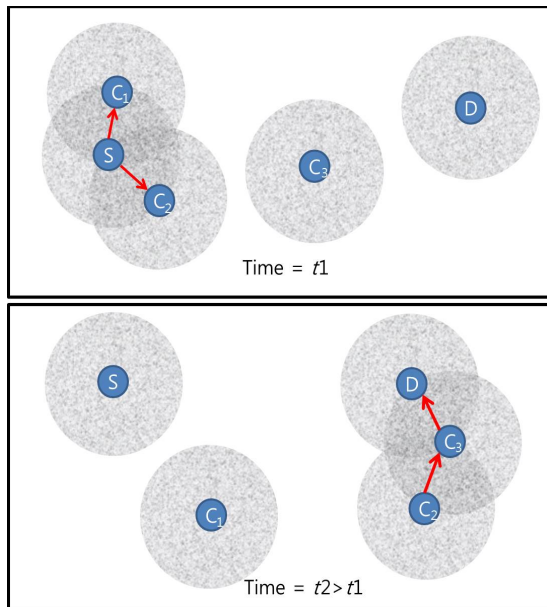
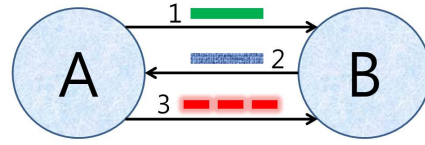


Fig. 1 Epidemic Routing Protocol Overview



- $SV_A$
- Request =  $(SV_A + \overline{SV_B})$
- - - Messages unknown to B

Fig. 2 Example of exchanging messages between node A and node B

### III. D2D 데이터 확산

본 논문에서는 D2D 통신을 이용하는 되도록 많은 수의 단말들에게 데이터를 확산하기 위해 Epidemic Routing Protocol을 적용하였다. 분포된 단말들은 현재 기지국과 통신할 수 없어 기지국을 사용할 수 없으며 때문에 애드혹 네트워크를 통해 통신을 수행해야 한다고 가정한다(eg., 재난, 군사 작전 지역). 본 연구의 시나리오는 다음과 같다.

- 1) 데이터를 생성하는 소스 노드인 D2D SD(Source Device)가 설정된 자신의 전송 반경 내에 위치한 다른 D2D 단말들에게 단 한번 데이터를 전송한다.
- 2) 1)에서 데이터를 전송받은 D2D 단말들은 자신의 전송 범위 내 단말들 중 아직 데이터를 수신하지 못한 다른 D2D 단말들에게 데이터를 전송한다.
- 3) 위의 2) 과정을 반복해 D2D SD를 중심으로 수행된 단말 릴레이의 모든 전송 범위 내에 위치한 모든 단말들이 데이터를 수신하면 D2D 데이터 확산이 종료된다.

Epidemic Routing Protocol을 적용한 방식은 전송 가능한 모든 릴레이 루트를 고려하여 데이터를 전송하기 때문에 여러 종류의 단말 분포 상황에서 데이터를 전송할 릴레이 루트가 존재하기만 하면 목표로 설정한 단말로 확실하게 데이터를 전송할 수 있다는 장점이 있다. 또한 기존에 연구하였던 섹터를 나누거나 클러스터링 알고리즘을 사용하여 전송 루트를 설정하고 목표지역을 향해서만 릴레이 단말을 선정하였던 방식에서 벗어나 전송 루트 외에 분포된 단말들까지 모두 데이터 수

신 단말로 확보할 수 있고 이를 통해 포함 확률의 최대화를 기대할 수 있다[3, 4].

본 논문에서는 일정 수의 단말들이 특정 지역에 밀집되어 무작위로 분포되어 있다고 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 단말들이 밀집되지 않은 지역 내 단말들의 밀도와 D2D SD와 D2D 단말들의 전송 범위와의 관계에 대한 비교분석을 수행하여 일정값 이상의 포함확률을 확보하기 위해 필요한 최소 단말 전송 범위를 그래프로 표현하였다.

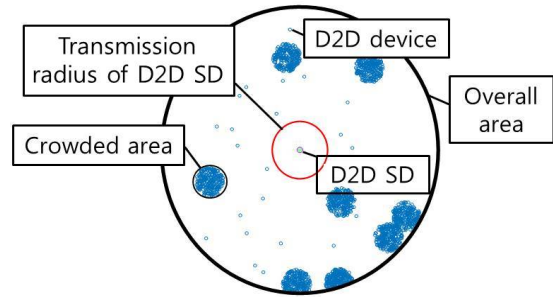


Fig. 3 Example of D2D SD and D2D devices distribution within overall area for tx range of D2D SD = 200m, density ratio = 1

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 맵트랩으로 D2D 통신 방식을 가정한 데이터 확산 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1과 같이 본 연구에서는 단말이 존재하는 전체 영역의 반경을 1000m로 설정하였다. D2D SD는 그 영역의 정중앙에 위치해 있으며 그 외, 분포된 D2D 단말의 개수는 2000개로 설정하였다. D2D SD의 전송 반경은 200~500m, 그리고 변수인 D2D 단말들의 전송 범위와 동일한 경우로 설정하였으며 D2D 단말의 전송 범위는 10~1000m까지의 변수로 설정하였다. 그리고 단말들이 밀집되어 분포되는 지역(Crowded area)의 반경과 개수는 각각 100m, 8개로 설정하였다. Density Ratio(단말 고밀집 지역의 단말 밀도/단말 저밀집 지역의 단말 밀도)는 10~1000로 설정하였고, D2D 단말들은 그림 3과 같이 설정된 Density Ratio의 값에 따라 100m의 반경을 가지는 특정 지역에 밀집되어 분포되며 그 외의 나머지 단말들은 그 외의 지역(저밀집 지역(Uncrowded area))에 무작위로 분포된다. 그리고 단말들은 움직이지 않는다고 가정한다. 본 논문에서는 위 시뮬레이션 파라미터들을 이용하여 그림 4-6의 그래프를 출력하였다.

Table. 1 Simulation Parameters

| Parameter               | Value                                |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Radius of overall area  | 1000m                                |
| # of D2D Devices        | 2000                                 |
| Tx range of D2D SD      | 200~500m,<br>Tx range of D2D Devices |
| Tx range of D2D Devices | 10~1000m                             |
| Density Ratio           | 10~1000                              |
| # of Crowded area       | 8                                    |
| Radius of Crowded area  | 100m                                 |

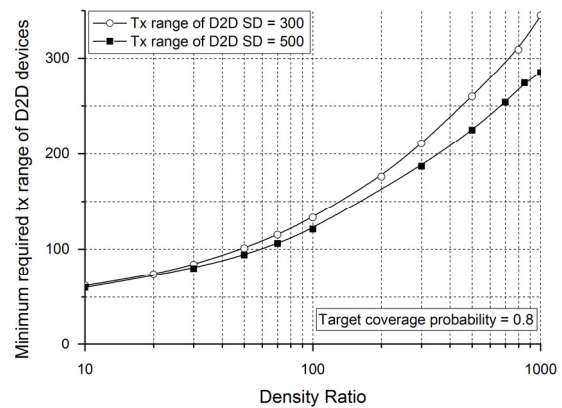
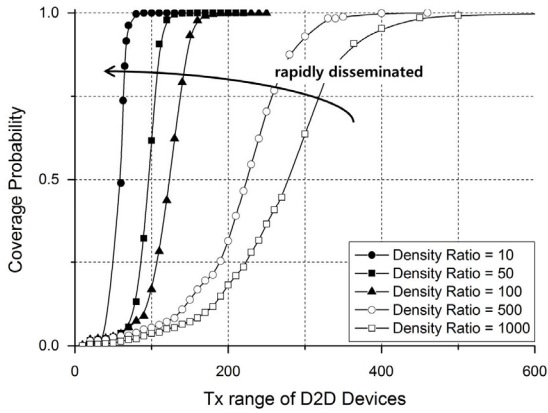


Fig. 4 Minimum required tx range of D2D Devices above (coverage probability = 0.8) against Device density in uncrowded area for (tx range of D2D SD = 300m, 500m)

그림 4의 그래프는 D2D SD의 전송 범위가 300, 500m 일 때 log scale로 표현한 x축 Density Ratio의 값에 따라 포함 확률이 0.8이상이 되기 위해 필요한 최소 D2D 단말 전송 범위를 y축으로 보여준다. D2D SD의 전송 범위가 300, 500m인 경우, x축의 값이 증가할수록 일반적으로 저밀집 지역의 단말 밀도가 줄어들며 이는 평균적인 서로 가깝게 분포되어 있는 단말들 간의 거리가 그만큼 늘어난다는 사실을 의미한다. 그 때문에 단말 간 데이터 전송 성공에 더 넓은 전송 범위가 필요하게 되며 그렇기 때문에 Density Ratio의 증가에 따라 y축의 값이 점점 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 D2D SD의 전송범위가 500m인 경우가 300m인 경우보다 초반 데이터 전송에서 데이터 수신 단말을 더 많이 확보하였기 때문에 그에 따라 더 작은 y축 값을 보이는

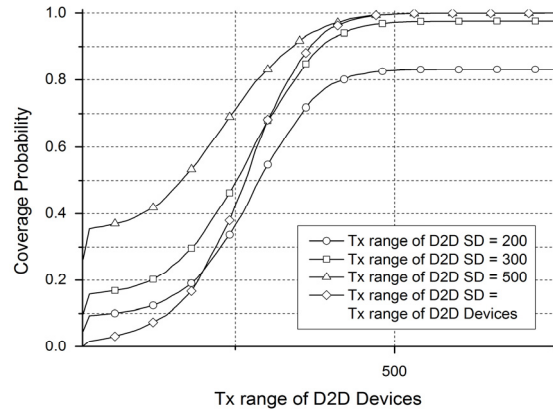


**Fig. 5** Coverage Probability against tx range of D2D Devices for Density Ratio = 10m, 50m, 100m, 500m, 1000m

것을 알 수 있다.

그림 5의 그래프는 D2D SD의 전송 범위가 D2D 단말들의 전송범위가 같고 Density Ratio가 10, 50, 100, 500, 1000일 때, x축인 D2D 단말의 전송 범위의 변화에 따른 y축의 포함 확률을 보여주는 그래프이다. 보이는 바와 같이 전체적으로 D2D 단말의 전송 범위가 커질수록 포함 확률이 1에 가까워진다. 그리고 이 그래프를 통해 Density Ratio 값이 커짐에 따라 저밀집 지역의 단말 밀도가 점점 줄어들기 때문에 높은 값의 포함 확률을 확보하기 위해서 더 높은 값의 D2D 단말의 전송 범위가 필요하게 된다. 그리고 반대로 Density Ratio가 작을수록 단말들이 저밀집 지역에 밀집되어 분포되므로 이 분포에 따라 더 빠르게 적은 릴레이 수로 더 많은 단말로의 데이터 전송이 이루어 질 수 있다.

그림 6의 그래프는 Density Ratio가 1000, D2D SD의 전송 범위 값이 각각 200, 300, 500m, D2D 단말의 전송 범위 값일 때, x축인 D2D 단말의 전송 범위의 증가에 따른 y축인 포함 확률의 증가 형태를 나타낸 그래프이다. D2D SD의 전송 범위가 200m인 경우, 저밀집 지역 내 단말들의 밀도가 너무 적어 D2D SD로부터의 최초 데이터 전송 시 데이터를 받을 단말이 존재하지 않는 상황이 많이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 x값이 아무리 커도 y의 값이 0인 경우가 발생하기에 그래프의 값이 1로 수렴하지 않는다. D2D SD의 전송 범위가 D2D 단말들과 같은 경우 x값의 초반에는 작은 값을 보이지만 후반으로 갈수록 상승하며 약 500m 이상의 값에서 y



**Fig. 6** Coverage Probability against tx range of D2D Devices for tx range of D2D SD = 200m, 300m, 500m, tx range of D2D Devices(m)

값이 거의 1에 가까운 값을 보이는 것을 알 수 있다. 이 값을 D2D SD의 전송범위가 200m, 300m, 500m로 고정되어 있을 때의 y 값과 비교할 때 x의 값이 각각 200, 300, 500에서의 포함 확률 값과 거의 교차함을 확인하였다.

## V. 결론

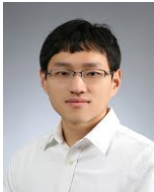
본 논문에서는 기존의 D2D 단말을 이용한 데이터 릴레이 확산 방식에 Epidemic Routing Protocol을 적용하여 시뮬레이션을 통해 다양한 환경에서 그 성능을 비교 분석하였다. 이를 통해 논문 [3, 4]에서 문제가 되었던 데이터를 릴레이 할 수 있는 우회루트가 존재함에도 설정된 전송 루트에 데이터를 릴레이할 단말이 존재하지 않아 데이터 전송 도중 중단되는 문제를 해결하였으며 또한 기존의 논문 [5]에서 더 나아가 D2D SD의 전송 범위를 변화시켜 더 다양한 환경에서의 성능 분석을 시행하였다. 본 논문에서는 향후 D2D SD의 범위에 따른 특정 포함 확률 이상의 값을 확보하는데 필요한 최소 D2D 단말의 전송범위에 대해 연구하고 여러 단말 분포에서 그에 따른 최적의 파라미터 값을 예측하는 공식을 확립함으로써 실제 통신 환경에서 최적의 파워를 이용한 D2D 통신 릴레이의 수행에 기여할 수 있을 것이라 기대하고 있다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (No. 2014R1A1A1008705).

## REFERENCES

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015 - 2020 White Paper [Internet]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
- [2] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in LTE-advanced networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 96-104, June 2012.
- [3] J. Kim, H. Lee, "VADA: Wi-Fi Direct Based Voluntary Advertisement Dissemination Algorithm for Social Commerce Services," *IEEE VTC 2015 Spring*, pp. 1-6, May 2015.
- [4] S. Han, J. Kim, H. Lee, "Performance Analysis of Hierarchical/Non-Hierarchical Clustering Algorithm for D2D Advertisement Dissemination," KICS 2015 Fall Conference, pp 36-37, Nov. 2015.
- [5] S. Han, H. Lee, "Performance Analysis of D2D Data Dissemination Based on Epidemic Routing Algorithm," KICS 2016 Summer Conference, pp 243-244, Jun. 2016.
- [6] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks," Duck Univ. tech. rep. CS-2000-06, 2000.



한세호(Se-Ho Han)

2015년 국립한경대학교 전자공학과 학사  
2015년 ~ 현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 석사과정  
※관심분야 : D2D 통신



이호원(Howon Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 박사  
2009년 ~ 2010년 KAIST IT융합연구소 선임연구원  
2010년 ~ 2012년 KAIST IT융합연구소 팀장/연구조교수  
2012년 ~ 2016년 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
2012년 ~ 현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수  
2015년 ~ 현재 국립한경대학교 IT융합연구소장  
2016년 ~ 현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 부교수  
※관심분야 : 5G 모바일 네트워크, 사용자 클러스터링, D2D 통신 등