

# 재난 무선통신을 위한 D2D 단말탐색 기반 주파수 자원 확보 기술

오 선 애\*, 신 오 순\*, 신 요 안°

## Frequency Resource Obtaining Method Based on D2D Device Discovery in Public Safety Communication Networks

Shanai Wu\*, Oh-Soon Shin\*, Yoan Shin°

### 요 약

LTE (Long Term Evolution) 네트워크를 기반으로 하는 공공안전 및 재난통신 관련 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기지국의 도움 없이 직접통신이 가능한 D2D (Device-to-Device) 통신 기술은 차세대 공공안전 및 재난통신망의 기반 기술로 각광받고 있다. 본 논문에서는 재난 지역의 기지국이 붕괴되었거나 통신 폭주로 인해 자원 할당이 지연되는 경우에 D2D 단말 탐색을 활용하여 재난 지역 단말들의 통신을 위한 신속하고도 정확한 주파수 자원 확보 기술을 제안한다.

**Key Words** : public safety, D2D discovery, delayed response, UE relay, resource forwarding

### ABSTRACT

As long term evolution (LTE) is the most widely deployed broadband communication technology so far, efforts are being made to develop LTE-based mission critical public safety (PS) communication systems. In this paper, we propose a device-to-device (D2D) discovery-based radio resource acquisition

scheme to support the LTE D2D communication to PS systems and the realization of resource forwarding for user equipments in emergency area.

### I. 서 론

LTE (Long Term Evolution) 네트워크를 기반으로 공공안전 및 재난통신 관련 표준화 산출물의 집합인 PS-LTE (Public Safety-LTE)는 공공안전용으로 사용할 수 있는 여러 LTE 요소 기술들을 가리키며 D2D (Device-to-Device) 통신 기술도 PS-LTE 요소기술 중의 하나이다<sup>[1]</sup>. 네트워크 인프라의 개입 없이 직접적으로 통신할 수 있는 D2D 통신 기술을 활용하여 UE (User Equipment) Relay를 구현할 수 있게 되며<sup>[3]</sup>, 재난 지역의 단말들이 정보를 교환하고 UE Relay를 통해 인접 인프라에 접속하여 재난 관련 정보를 전달할 수 있게 된다. 이러한 D2D 통신을 위해서 단말들은 사용할 수 있는 주파수 자원을 확보하는 기술이 요구된다.

스케줄링을 진행하던 기존 인프라가 붕괴되거나 통신 폭주로 인해 자원 할당이 지연되는 경우에 재난 지역 단말들의 주파수 자원 확보를 위해 본 논문에서는 인접 셀에서 재난 지역으로 주파수 자원 정보를 전달하며, D2D 단말탐색 (1단계)을 통해 재난 지역 단말들이 주파수 자원을 확보 (2단계)하는 기법을 제안한다.

### II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1에서와 같이 서로 중복되지 않는 주파수 자원 {R1, R2, R3}을 사용하는 3개의 Sector로 구성된 셀 모델을 고려한다. 재난 지역의 PS-eNB (Public Safety-evolved Node B)가 붕괴되어 정상적으로 동작하지 못하거나 통신 폭주로 인해 자원 할당이 지연되면 PS-UE들은 재난 상황을 감지한 인접 셀 NPS-eNB (Non-Public Safety- eNB)의 소속 단말 NPS-UE로부터 신호 전송에 필요한 Resource Pool을 수신한다고 가정한다. 따라서 Resource Pool을 전달하기 위해 NPS-UE는 주변의 PS-UE들을 탐색하는 과정이 선행되어야 한다. PS-UE들이 탐색 신

\* 본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2013R1A1A2059500) 및 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (2014R1A5A1011478).

♦ First Author : Soongsil University, School of Electronic Engineering, sunae0814@ssu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Soongsil University, School of Electronic Engineering, yashin@ssu.ac.kr, 종신회원

\* Soongsil University, School of Electronic Engineering, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-10-316, Received October 17, 2016; Revised November 3, 2016; Accepted November 3, 2016

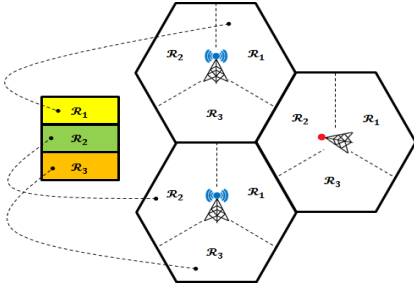


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

호를 수신하고 응답하는 과정에서 무분별한 신호 전송이 발생될 것으로 예상되며, 이로 인한 자원 충돌 및 자원의 비효율적인 사용문제가 불가피할 것으로 예상된다.

### III. 제안하는 D2D 단말탐색 기반 주파수 자원 확보 기술

효율적인 단말탐색과 이를 기반으로 하는 자원 확보를 위해 본 논문에서는 지연응답 기반의 D2D 단말탐색 및 자원 확보 방안을 제안한다. PS-UE는 LTE 슬롯 구조에 완벽하게 동기화 되었다고 가정하였으며, 높은 확률로 탐색신호를 검출하기 위해 적은 샘플 개수로도 완벽한 신호의 복원을 보장하는 sub-Nyquist 샘플링을 활용하여 광대역 스펙트럼 센싱을 진행한다 고 가정하였다<sup>41</sup>. 그림 2는 제안 기법의 시그널링 예시를 보여주며, 자세한 절차는 다음과 같다.

① NPS-UE Relay는 탐색신호를 전송 ( $t_0$  시점)한 후  $\frac{T}{2}$  시점까지 수신모드를 유지하며, 여기서  $T$ 는 제안 기법의 주기를 나타낸다.

② PS-UE들은 광대역 스펙트럼 센싱을 통해 탐색

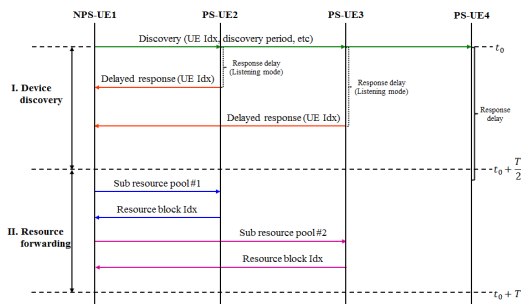


그림 2. 제안하는 D2D 단말탐색 기반 주파수 자원 확보  
Fig. 2. The proposed D2D discovery based radio resource acquisition

신호를 탐지하며, 다음과 같이  $k$ 번째 PS-UE에서의 탐색 수신 SINR (Signal-Interference-plus-Noise Ratio)  $\gamma_{d,k}$ 를 계산하여 응답지연을 산출한다.

$$\gamma_{d,k} = \frac{P_k^{(s)}}{\sum_{i \in \Delta, i \neq s} P_k^{(i)} + \sum_{j \in \mathcal{J}_w} P_k^{(j)} + N_w}, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 PS-UE의 인덱스를 나타내며,  $\Delta$ 는 탐색신호를 전송하는 단말들의 집합을 의미한다. 광대역 스펙트럼 센싱을 고려하였기 때문에 다수의 단말들이 동시에 탐색신호를 전송할 때 수신 신호 세기가 가장 큰 신호 ( $s$ )를 제외한 나머지 대역에서 검출된 신호는 간섭으로 작용하게 된다 ( $\sum_{i \in \Delta, i \neq s}$  항).  $\mathcal{J}_w$ 는 동일 자원을 사용하는 NPS-UE들이며,  $N_w$ 는 광대역 배경 잡음을 의미한다.

③ 수신 SINR이 목표 값  $\beta_D$ 를 만족하는 PS-UE들은 응답지연 동안 Listening 모드를 유지하였다가 응답지연이 종료되면 순차적으로 응답을 전송하게 되며,  $i$ 번째 단말에게 응답한 PS-UE들의 ID (Identification) 집합을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D^{(i)} = \{\text{ID}^{(k)} | \gamma_{d,k} \geq \beta_D, k = 1, \dots, K\} \quad (2)$$

④ PS-UE들은 탐색신호를 수신한 대역에 접근하여 응답을 전송하게 된다. 따라서  $i$ 번째 탐색 단말에서의 응답 수신 SINR  $\gamma_{r,i}$ 는 다음과 같게 된다.

$$\gamma_{r,i}^{(l)} = \frac{P_i^{(l)}}{\sum_{j \in \mathcal{J}_n} P_i^{(j)} + N_n}, \quad l \in D^{(i)} \quad (3)$$

여기서  $\mathcal{J}_n$ 은 탐색 단말과 자원을 공유하는 단말들의 집합을 나타내며,  $N_n$ 은 협대역 배경 잡음을 의미한다. 탐색 단말은 응답 수신 SINR이 목표 값  $\beta_D$ 를 만족하는 PS-UE의 ID를 정확하게 복원할 수 있다고 가정하였으며, 따라서 탐색된 PS-UE들의 집합은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R^{(i)} = \{\text{ID}^{(l)} | \gamma_{r,i}^{(l)} \geq \beta_D, l \in D^{(i)}\} \quad (4)$$

⑤  $t_0 + \frac{T}{2}$  시점에서 단말탐색이 종료되면 NPS-UE는 Resource Pool을 서로 중복되지 않는 여러 개의 Sub-Resource Pool로 나눈 후, 탐색된 PS-UE들에게 각각의 응답지연 타이밍에 순차적으로 전송한다. PS-UE는 주파수 자원을 랜덤하게 선택하며 자원 인덱스를 NPS-UE한테 전송한다.

⑥ 주파수 자원을 확보한 PS-UE들은 더 많은 재난 지역 단말들한테 주파수 자원을 전달하기 위해 단말 탐색과 자원 전달 절차를 반복한다. 단말들은 탐색신호에 한번만 응답하며, 제안 기법은 탐색 신호를 전송할 수 있는 단말이 없으면 종료된다.

이와 같이 제안 기법을 통해 재난 지역 단말들은 주변 D2D 단말에 대한 정보 및 해당 단말이 사용하는 주파수 자원 정보를 모두 획득할 수 있게 되어 효율적인 D2D 통신이 가능하게 된다.

#### IV. 모의실험 결과 및 결론

제안 기법의 성능을 분석하기 위해 표 1에서 정리한 주요 파라미터들을 사용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 그림 3에서 도시한 바와 같이 1개의 PS 셀과 2개의 NPS 셀을 고려하였으며, NPS-UE Relay 1은 첫 번째 NPS 셀에 NPS-UE Relay 2와 3은 두 번째 NPS 셀에 배치하였다. NPS-UE Relay를 1부터 3까지 증가하면서 주파수 자원을 확보한 재난 지역 단말들의 개수를 도출하였다. 그림 4로부터 NPS-UE Relay 1만 존재하는 경우에 평균 4개 이상의 주기를 통해 17개 이상의 PS-UE들이 자원을 성공적으로 확보할 수 있음을 알 수 있다. 두 번째 NPS 셀에 NPS-UE Relay 2를 추가하면 평균 1개의 Hop을 거쳐 7개 이상의 PS-UE들이 주파수 자원을 확보하며, NPS-UE Relay 3을 추가하면 4개 이상의 PS-UE들이 주파수 자원을 성공적으로 확보함을 확인하였다. 따라서 광대역 스펙트럼 센싱을 고려하면 탐색신호를 포착할 가능성이 증가하는 반면에 누적된 간섭이 증가

표 1. 모의실험에서 사용된 주요 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Inter-site distance	500 m
Number of UEs	25 UEs per sector
Minimum UE-UE distance	20 m
Path loss model	Winner+B1
Shadow fading	7 dB log-normal
Noise power spectral density	-174 dBm/Hz
UE noise figure	9 dB
Resource assignment	Random, 1 RB per UE
UE transmit power	23 dBm
Target SINR	5 dB
Discovery period	4 sec
Slot duration	0.5 msec

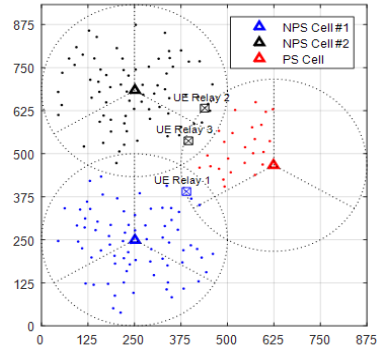


그림 3. 셀 배치 및 UE 분포 시나리오  
Fig. 3. The scenario of cell deployments and UE drops

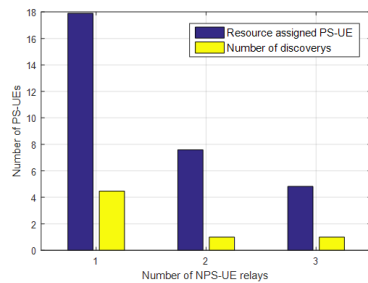


그림 4. NPS-UE Relay의 개수에 따른 자원을 확보한 PS-UE의 개수  
Fig. 4. The number of resource assigned PS-UEs vs. the number of NPS-UE relay(s)

하여 PS-UE가 탐색신호를 정확하게 복원하기 어렵게 됨을 알 수 있다.

#### References

- [1] M. B. Simic, "Feasibility of long term evolution (LTE) as technology for public safety," in *Proc. IEEE TELFOR 2012*, pp. 158-161, Belgrade, Serbia, Nov. 2012.
- [2] T. Doumi, M. Dolan, S. Tatesh, A. Casati, A. Tsirtsis, K. Anchan, and D. Flore, "LTE for public safety networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 2, pp. 106-112, Feb. 2013.
- [3] 3GPP TR 36.843, v12.0.1, Mar. 2014.
- [4] H. Jung, K.-Y. Kim, and Y. Shin, "Cooperative spectrum sensing utilizing sub-nyquist sampling in cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 7, pp. 1234-1238, Jul. 2015.