

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^[1]. 네트워크 인프라의 개입 없이 직접적으로 통신할 수 있는 D2D 통신 기술을 활용하여 UE (User Equipment) Relay를 구현할 수 있게 되며^[3], 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

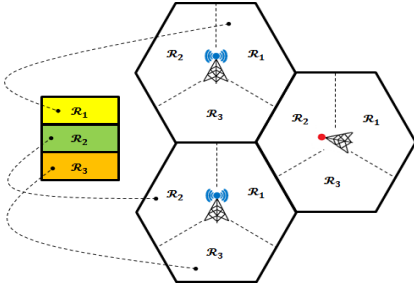


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

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 진행한다고 가정하였다⁴¹. 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

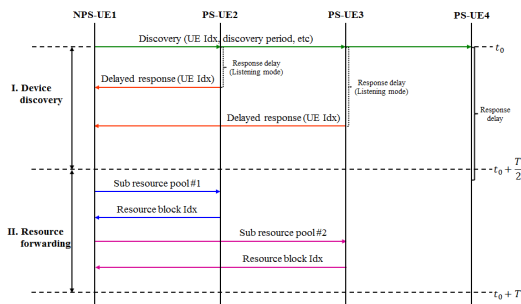


그림 2. 제안하는 D2D 단말탐색 기반 주파수 자원 확보
Fig. 2. The proposed D2D discovery based radio resource acquisition

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, Δ 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 β_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 β_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

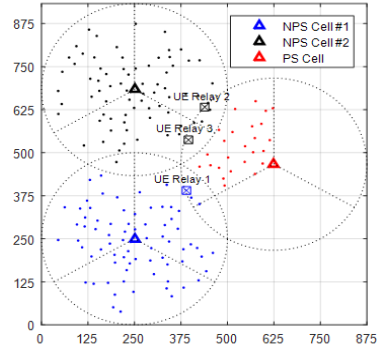


그림 3. 셀 배치 및 UE 분포 시나리오
Fig. 3. The scenario of cell deployments and UE drops

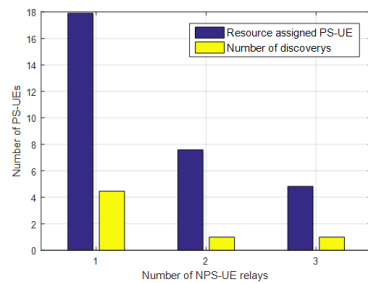


그림 4. NPS-UE Relay의 개수에 따른 자원을 확보한 PS-UE의 개수
Fig. 4. The number of resource assigned PS-UEs vs. the number of NPS-UE relay(s)

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.