

V2X를 위한 향상된 랜덤 자원 선택 기술

윤성준*, 최상원°, 권기범*, 박동현*, 리지안준*

Enhanced Random Resource Selection Scheme for V2X

Sung-jun Yoon*, Sang Won Choi°, Ki-bum Kwon*, Dong-hyun Park*, Jianjun Li*

요약

V2X 통신에서, 사이드링크 수신 능력들이 없는 디바이스들 지원하기 위한 경우 및 단말의 파워 소비 감소가 요구되는 경우를 고려하여 랜덤 기반의 자원 선택 방식이 요구된다. 본 논문에서는 PSCCH 주기 내에서의 데이터를 위한 서브프레임 풀에 대하여 하나의 TRP를 반복 적용하는 D2D에서의 자원 선택 방식을 개선하여, 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 단말-특정한 시드 값을 가지는 의사-랜덤 시퀀스를 바탕으로 TRP가 매 적용마다 달리 적용되는 방식을 제안하였다. 수치 분석을 통해 제안된 기술의 성능을 분석한 결과, 데이터 TB을 위해 각 단말에게 할당된 자원들 간의 충돌 확률이 줄어들며 이를 통해 자원 출동을 최대한 피하면서 동시에 자원할당이 가능한 단말의 개수를 늘릴 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : V2X, LTE, D2D, Sidelink, Random Resource Selection

ABSTRACT

In V2X communication, a random based resource selection scheme is needed with considerations of cases that support devices without sidelink reception capabilities and require reduction of UE's power consumption. In this paper, as improvement of D2D's resource section scheme that one TRP is repeated to data subframe pool within a PSCCH period, it is proposed that different TRPs is applied for enhanced random resource selection based on pseudo-random sequence having UE-specific seed value. By results of proposed scheme's performance by numerical analysis, it is confirmed that collision probability among resources allocated to each UE for data TB is reduced, and a number of UEs which can avoid resource collision as much as possible and have simultaneous resource allocation is increased.

1. 서론

V2X(Vehicle to X; Vehicle to Everything) 통신은 운전 중 도로 인프라 및 다른 차량과 통신하면서 교통 상황 등의 정보를 교환하거나 공유하는 통신 방식을 의미한다. V2X는 차량들 간의 통신을 뜻하는 V2V(Vehicle to Vehicle), 차량과 개인에 의해 휴대

되는 단말 간의 통신을 뜻하는 V2P(Vehicle to Pedestrian), 차량과 도로변의 유닛(roadside unit, RSU) 및/또는 네트워크(network) 간의 통신을 뜻하는 V2I/N(Vehicle to Infrastructure and/or Network)를 포함할 수 있다. 이 때, 상기 도로변의 유닛은 기지국 또는 고정된 단말에 의해 구현되는 교통 인프라 구조 독립체(transportation infrastructure entity)일 수 있다

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신방송표준개발지원사업의 일환으로 수행하였음. [R71171601300 001002, V2X 기반 철도 이동 통신 및 스마트 교통 ICT 융합 서비스를 위한 국제 표준화]

♦ First Author : ITL(Innovative Technology Lab) Inc., yoon.sungjun@gooditl.com, 정희원

° Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, swchoi@krii.re.kr, 정희원

* ITL(Innovative Technology Lab) Inc., kbkwon@gooditl.com, 정희원, park.donghyun@gooditl.com, lijianjun@gooditl.com

논문번호 : KICS2016-11-360, Received November 24, 2016; Revised April 14, 2017; Accepted May 8, 2017

^[1] 예를 들어, 차량에 속도 알림(speed notification)을 전송하는 독립체일 수 있다.

3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 LTE(Long Term Evolution)의 릴리즈(Release)-14 버전(version)을 위한 연구과제(Study Item, SI) 중 하나로써, V2X에 대한 연구를 2015년 3/4분기부터 시작하여 2016년 2/4분기까지 진행하였으며, 이를 통해 기술보고서인 TR 36.885^[1]에 대한 작성을 완료하였다. V2X의 주요 3가지 표준화 연구 대상인 V2V, V2P, V2I/N 중 D2D(Device to Device)에서 단말과 단말 간의 통신 인터페이스로 정의하였던 PC5를 기반으로 한 V2V가 먼저 연구 되었으며, 이에 대해서는 3GPP LTE 릴리즈-14 버전을 위한 작업과제(Work Item, WI)로 2016년 1/4분기부터 표준화가 진행되어 2016년 3/4분기까지 진행되었다. PC5를 기반으로 한 V2V를 제외한 Uu 기반의 V2V, PC5 및/또는 Uu 기반의 V2P와 V2I/N의 경우 3GPP LTE 릴리즈-14 버전을 위한 또 다른 작업과제로 2016년 2/4분기부터 표준화가 진행되고 있다.

V2X에서 통신의 송/수신은 기지국을 거쳐서 이뤄질 수도 있고, 단말 간에 직접통신을 통해서 이뤄질 수도 있다. 이 때, 기지국을 거치는 경우 LTE 기반의 V2X 통신에서는 LTE의 기지국과 단말 간의 통신 인터페이스인 Uu 링크를 통해 송/수신이 이뤄질 수 있으며, 단말 간에 직접통신을 통한 경우 LTE 기반의 V2X 통신에서는 LTE의 단말과 단말 간의 통신 인터페이스인 PC5 링크를 통해 송/수신이 이뤄질 수 있다. 한편, LTE에서 기지국으로부터의 단말로의 통신은 하향링크(downlink, DL)로 단말로부터의 기지국으로의 통신은 상향링크(uplink, UL)로 불리고 있다. 3GPP LTE 릴리즈-12에서부터는 상기 상/하향링크에 추가적으로 단말로부터의 단말로의 통신을 사이드링크(sidelink, SL)로 정의하여 부르고 있다. LTE에서 상기 PC5 기반의 사이드링크 통신을 처음 활용하여 적용한 기술 아이템이 공공안전(public safety) 및 상업 목적의 근접 통신(Proximity Communication, Prose)인 D2D이며, 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다^[2-6]. 따라서, LTE 기반의 V2X 통신은 LTE의 단말과 단말 간의 통신 인터페이스인 PC5 링크를 활용하여 통신을 수행하는 경우, 기존에 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 D2D를 위해 정의되었던 물리 채널 및 물리 신호를 V2X 환경에 맞게끔 성능 개선(enhancement)을 하여 활용하는 방안을 고려하고 있으며 이에 대한 연구가 진행 중에 있다.

3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 PC5 링크 기반의

D2D는 제어 채널(Physical Sidelink Control Channel, PSCCH)과 데이터 채널(Physical Sidelink Shared Channel, PSSCH)을 특정 전송 자원을 통해 전송한다. 이 특정 전송 자원은, 자원 풀(resource pool) 상에서 TRP(Time Resource Pattern for Transmission)에 의해 정의가 된다. V2X에서 PC5 링크 기반의 V2V는 이와는 달리 센싱(sensing) 기반의 자원 선택 방식을 통해 PSCCH와 PSSCH를 전송할 자원을 선택한다. 하지만, V2X 중 V2P/P2V의 경우 단말 파워 소비 감소가 하나의 큰 고려사항이며(특히, 보행자 단말(P-UE)로부터의 차량 단말(V-UE)로의 통신인 P2V의 경우, V-UE와는 달리 P-UE에서는 배터리 파워가 한정적이므로), 이를 위해 V-UE들 간의 통신인 V2V에서 대략 1s에 해당하는 1000개의 서브프레임에 대응되는 구간 동안 센싱을 수행하였던 것과는 달리 V2P/P2V에서 P-UE를 위해서는 일부 서브프레임에 대해서만 부분(partial) 센싱을 수행하는 방법이 고려된다. 한편, P-UE가 V-UE에게 사이드링크 제어 정보 및 데이터를 송신하는 경우(이는 P2V 통신을 수행하는 경우에 해당하며, 차량 등의 V-UE가 보행자 등의 P-UE에 대한 정보를 습득하여 안전 사항 등에 대비하는 경우에 해당)는 고려하지만, 반대로 P-UE가 V-UE로부터 사이드링크 제어 정보 및 데이터를 수신하지 않는 경우(이는 V2P 통신을 수행하지 않는 경우에 해당하며, 보행자 등의 P-UE가 차량 등의 V-UE에 대한 정보를 안전 사항 등에 대비하기 위해 습득할 필요가 없는 경우에 해당)를 고려할 수 있으며, 이렇게 사이드링크 수신 능력들(sidelink reception capabilities)이 없는 디바이스(device)들을 지원하기 위한 경우를 고려할 경우 P-UE를 위해서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D와 마찬가지로 랜덤 기반의 자원 선택 방식 역시 필요하다. 상기 랜덤 기반의 자원 선택 방식은 단말의 파워 소비 감소 측면에서도 가장 큰 이득을 가지는 방법이다. 하지만, 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D와는 다른 V2X의 통신 환경(상대적으로 높은 이동 속도 및 특정 지역 내의 많은 수의 단말들이 존재할 수 있는 환경 등)을 고려할 경우, PC5 링크 기반의 D2D에서 정의되었던 TRP 기반의 자원 선택 방식을 개선한 랜덤 기반의 자원 선택 방식이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2에서의 자원 선택 방식을 개선한 V2X(특히 V2P/P2V)에서의 랜덤 기반의 자원 선택 방식에 대해 제안하기로 한다. 본 논문의 2

장에서는 V2X에서 고려되는 시나리오에 대해 보다 자세히 알아보기로 하며, 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 PC5 링크 기반의 D2D를 위해 정의되었던 TRP 기반의 자원 선택 방식에 대해서도 알아보기로 한다. 3장에서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D에서의 자원 선택 방식을 개선한 V2X(특히 V2P/P2V)에서의 랜덤 기반의 자원 선택 방식에 대해서 제안하며, 4장에서는 이에 대한 수치 분석을 통해 개선된 성능을 분석하기로 한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 V2X 시나리오

2.1.1 V2X 시나리오 1

V2X 시나리오 1은 그림 1에서 보는 것과 같이, 오직 LTE의 단말과 단말 간의 통신 인터페이스인 PC5 링크만을 기반으로 V2X 동작을 지원하는 시나리오이다. 이 시나리오에서, 하나의 단말은 V2X 메시지를 로컬(local) 지역에서의 사이드링크를 통해 복수의 단말들에게 전송한다. V2I의 경우 전송 단말 또는 수신 단말(들)은 단말-타입 RSU 일수가 있다. V2P의 경우 전송 단말 또는 수신 단말(들)은 보행자 단말(P-UE) 일수가 있다. 그림 1에서 (a)는 V2V 동작, (b)는 V2I 동작, (c)는 V2P 동작을 나타낸다^[1].

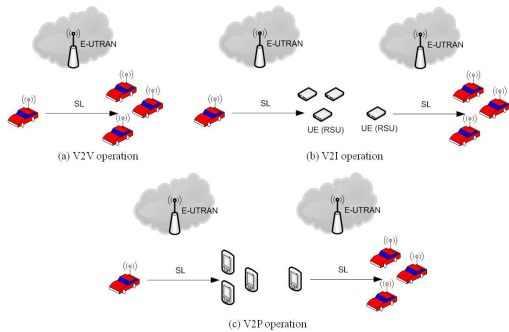


그림 1. V2X 시나리오 1[1]
Fig. 1. V2X scenario 1[1]

2.1.2 V2X 시나리오 2

V2X 시나리오 2는 그림 2에서 보는 것과 같이, 오직 LTE의 기지국과 단말 간의 통신 인터페이스인 Uu 링크만을 기반으로 V2X 동작을 지원하는 시나리오이다. 이 시나리오에서 V2V와 V2P의 경우, 하나의 단말은 V2X 메시지를 상향링크를 통해 기지국에게 전

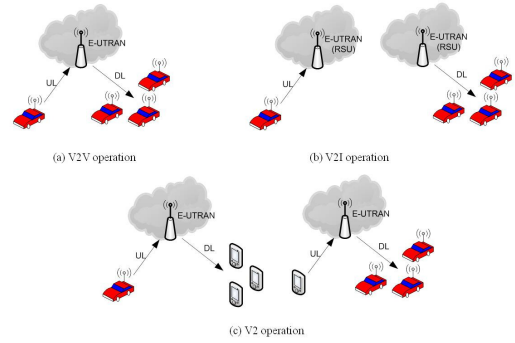


그림 2. V2X 시나리오 2[1]
Fig. 2. V2X scenario 2[1]

송하고, 기지국은 V2X 메시지를 로컬(local) 지역에서의 하향링크를 통해 복수의 단말들에게 전송한다. 이 시나리오에서 V2I의 경우, 수신기가 기지국-타입 RSU일 때는 하나의 단말이 V2I 메시지를 상향링크를 통해 기지국(기지국-타입 RSU)에게 전송하고, 송신기가 기지국-타입 RSU일 때는 기지국(기지국-타입 RSU)이 V2I 메시지를 로컬(local) 지역에서의 하향링크를 통해 복수의 단말들에게 전송한다. V2P의 경우 전송 단말 또는 수신 단말(들)은 보행자 단말(P-UE) 일수가 있다. 이 시나리오는 지원하기 위해서, 기지국(3GPP LTE의 E-UTRAN(Evolved Universal Terrestrial Radio Access)에서의 eNodeB가 이에 해당)은 상향링크 수신과 하향링크 전송을 수행한다. 하향링크의 경우, E-UTRAN은 브로드캐스트(broadcast) 메커니즘을 사용한다. 그림 2에서 (a)는 V2V 동작, (b)는 V2I 동작, (c)는 V2P 동작을 나타낸다^[1].

2.1.3 V2X 시나리오 3

V2X 시나리오 3은 그림 3에서 보는 것과 같이, LTE의 단말과 단말 간의 통신 인터페이스인 PC5 링크 및 LTE의 기지국과 단말 간의 통신 인터페이스인 Uu 링크 모두를 사용하여 V2X 동작을 지원하는 시나리오이다. 시나리오 3A의 경우, 하나의 단말은 V2X 메시지를 사이드링크를 통해 다른 단말들에게 전송한다. 수신 단말들 중 하나는 사이드링크를 통해 V2X 메시지를 수신하고 상향링크를 통해 이를 기지국에게 전송하는 단말-타입 RSU이다. 기지국은 V2X 메시지를 단말-타입 RSU로부터 수신하고, 이를 로컬(local) 지역에서의 하향링크를 통해 복수의 단말들에게 전송한다. 시나리오 3B의 경우, 하나의 단말은 V2X 메시지를 상향링크를 통해 기지국에게 전송하고, 기지국은 이를 하나 또는 복수의 단말-타입 RSU에게 전송한다, 그 후, 단말-타입 RSU는 V2X 메시지를 사이드링크

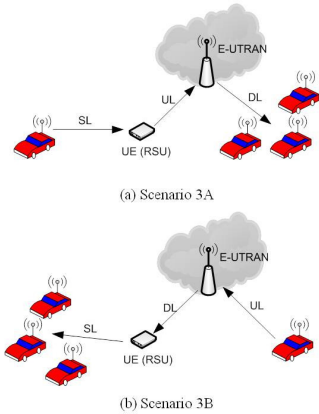


그림 3. V2X 시나리오 3[1]
Fig. 3. V2X scenario 3[1]

를 통해 다른 단말들에게 전송한다. 이 시나리오를 지원하기 위해서, 기지국(3GPP LTE의 E-UTRAN에서의 eNodeB가 이에 해당)은 V2X 메시지의 상향링크 수신과 하향링크 전송을 수행한다. 하향링크의 경우, E-UTRAN은 브로드캐스트(broadcast) 메커니즘을 사용한다. 그림 3에서 (a)는 시나리오 3A 동작, (b)는 시나리오 3B 동작을 나타낸다^[1].

2.2 LTE 릴리즈-12/13에서 D2D를 위한 자원 선택 방식

2.2.1 자원 풀 구성 방식

3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D^{[7]-[10]}는 제어 채널(Physical Sidelink Control Channel, PSCCH)과 데이터 채널(Physical Sidelink Shared Channel, PSSCH)을 특정 전송 자원을 통해 전송한다. 이 때, 상기 특정 전송 자원은 자원 풀(resource pool) 상에서 정의가 된다. 자원 풀은 시간 축 상에서의 자원 풀인 서브프레임(subframe) 풀과 주파수 축 상에서 자원 풀인 자원 블록(resource block, RB) 풀로 나눌 수 있다. 사이드링크에서 전송 모드 1(Transmission Mode 1, TM 1)은 직접 데이터 및 직접 제어 정보를 전송하기 위해서 단말이 사용하는 자원을 기지국(또는 중계기)이 정확하게 스케줄링하는 동작 모드를 의미하고, 전송 모드 2(Transmission Mode 2, TM 2)는 직접 데이터 및 직접 제어 정보를 전송하기 위해서 단말이 사용하는 자원 풀에서 단말 스스로 자원을 선택하는 동작 모드를 의미한다.

그림 4는 사이드링크 전송 모드 1에서의 자원 풀 중 서브프레임 풀 구성을 나타낸다. 그림 4에서 보는

것과 같이, SFN(System Frame Number)의 시작(SFN #0)부터 일정 오프셋(offset)을 가지고 PSCCH 주기(period)가 반복이 되며, PSCCH 주기 내에서 PSCCH 전송을 위한 부분을 제외한 부분 중 모든 상향링크 서브프레임이 데이터 전송을 위한 서브프레임 풀이 된다.

그림 5는 사이드링크 전송 모드 2에서의 자원 풀 중 서브프레임 풀 구성을 나타낸다. 그림 5에서 보는 것과 같이, DFN(D2D Frame Number)의 시작(DFN #0)부터 일정 오프셋(offset)을 가지고 PSCCH 주기(period)가 반복이 되며, PSCCH 주기 내에서 PSCCH 전송을 위한 부분을 포함하는 또 다른 오프셋(offset2)를 제외한 부분에 대하여 서브프레임 비트맵(subframe bitmap)을 적용하여, 비트 값이 “1”인 비트에 대응되는 서브프레임들이 데이터 전송을 위한 서브프레임 풀이 된다.

그림 6은 사이드링크 전송 모드 1 및 전송 모드 2에서의 자원 풀 중 자원 블록 풀 구성을 나타낸다. 그림 6에서 보는 것과 같이, 그림 4 및 그림 5에서 설명한 서브프레임 풀에 속하는 하나의 서브프레임 대하여 주파수 축으로 “startPRB”로 시작하여 “numPRBs”개의 PRB(Physical Resource Block) 및 “endPRB”까지의 “numPRBs”개의 PRB가 데이터 전송을 위한 자원 블록 풀에 속하게 된다. 이 때, 시간 축 상으로 서브프레임 풀에 속하고 주파수 축으로 자원 블록 풀에 속하는 자원들에 대하여 마지막 심볼(symbol)에 해당하는 자원은 갭(gap)으로 자원 풀에서 제외되게 된다.

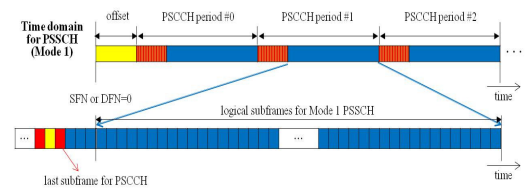


그림 4. 사이드링크 전송 모드 1에서의 서브프레임 풀 구성
Fig. 4. Subframe pool configuration in SL TM 1

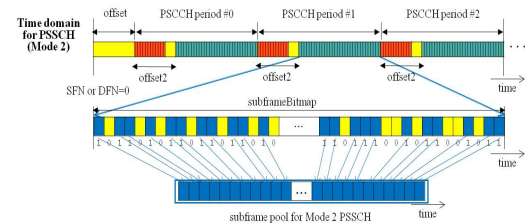


그림 5. 사이드링크 전송 모드 2에서의 서브프레임 풀 구성
Fig. 5. Subframe pool configuration in SL TM 2

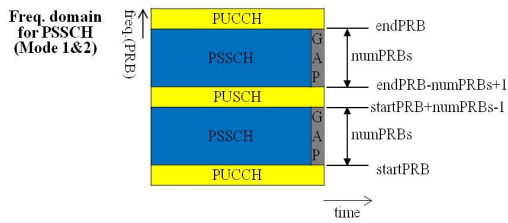


그림 6. 사이드링크 전송 모드 1/2에서의 자원 블록 풀 구성
Fig. 6. Resource block pool configuration in SL TM 1/2

2.2.2 데이터 전송 서브프레임 선택 방식

앞서 살펴본 서브프레임 풀에 속하는 서브프레임들에 대해서 TRP를 적용하여 사이드링크 모드 1 및 모드 2에서 데이터(물리 채널 측면에서 보자면 PSSCH)를 전송 할 시간 축 자원인 데이터 전송 서브프레임을 선택하게 된다. 즉, TRP는 하나의 PSSCH 주기 내에서 서브프레임 풀에 속하는 데이터 전송 서브프레임 후보들에 대하여 PSSCH를 위한 시간 축 자원을 지시하기 위해 사용된다. 이는 하나의 PSSCH 주기 내에서 데이터 전송을 위한 서브프레임 풀에 적용이 된다.

표 1에서 보는 것과 같이, TRP는 서브프레임 풀 내의 N_{TRP} 개의 데이터 전송 서브프레임 후보들에 대응되는 길이가 N_{TRP} 인 비트맵으로 그 자원 패턴이 정의가 된다. 이 때, k_{TRP} 는 길이가 N_{TRP} 인 비트맵에서 비트 값이 "1"인 비트들의 수에 해당되며, 이는 길이가 N_{TRP} 인 비트맵에 대응되는 서브프레임 풀 내의 N_{TRP} 개의 데이터 전송 서브프레임 후보들 중에서 실질적으로 단말의 데이터 전송을 위해 사용되는 서브프레임들의 개수를 의미한다.

그림 7에서 보는 것과 같이, 하나의 PSSCH 주기 내에서 총 L_{PSSCH} 개의 서브프레임들로 구성되는 서브프레임 풀에 대하여 길이가 N_{TRP} 인 자원 패턴이 상기

표 1. LTE 사이드링크에서 각각의 듀플렉스(duplex) 구성에 따른 TRP를 위한 파라미터 값들
Table 1. Parameter values for TRP according to each duplex configuration in LTE sidelink

	TM 1	TM 2
FDD, TDD UL-DL config.1/2/4/5	$N_{TRP}=8;$ $K_{TRP}=\{1,2,4,8\}$	$N_{TRP}=8;$ $K_{TRP} \subset \{1,2,4\}$
TDD UL-DL config.0	$N_{TRP}=7;$ $K_{TRP}=\{1,2,3,4,5,6,7\}$	$N_{TRP}=7;$ $K_{TRP} \subset \{1,2,3,4,5\}$
TDD UL-DL config.3/6	$N_{TRP}=6;$ $K_{TRP}=\{1,2,3,4,5,6\}$	$N_{TRP}=6;$ $K_{TRP} \subset \{1,2,3,4\}$

L_{PSSCH} 개의 서브프레임들을 커버하도록 반복 적용이 된다. 즉, 하나의 선택된 TRP가 하나의 PSSCH 주기 내에서 총 L_{PSSCH} 개의 서브프레임들로 구성되는 서브프레임 풀에 대하여 반복 적용되는 것이다. 이 때, 상기 하나의 TRP의 선택을 지시하기 위해서는 사이드링크 통신에서 제어 정보에 해당하는 SCI(Sidelink Control Information)가 이용이 된다. 표 1에 따라 최대 128개의 TRP가 존재할 수 있으며, 이는 0부터 127까지 넘버링이 된다. 이는 7비트의 정보로 구성되어, 어떤 TRP가 사용될 것인지가 송신 단말로부터 수신 단말에게 SCI를 통해 지시가 된다. 이 때, 사이드링크 모드 1에서는 기지국이 상기 TRP를 선택하여 DCI를 통해 송신 단말에게 지시한 후 이를 송신 단말이 SCI를 통해 수신 단말에게 지시하며, 사이드링크 모드 2에서는 송신 단말이 스스로 TRP를 랜덤하게 선택한 후 이를 송신 단말이 SCI를 통해 수신 단말에게 지시하게 된다. 이렇게 해서 지시된 데이터 전송 서브프레임들에 대해 4개의 서브프레임 단위로 하나의 TB(Transmission Block) 단위의 데이터가 송신 단말로부터 수신 단말에게 전송된다.

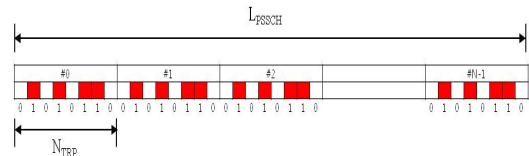


그림 7. LTE 사이드링크 전송 모드 1/2에서의 TRP 구성 예
Fig. 7. Example of TRP in LTE SL TM 1/2

III. 향상된 랜덤 자원 선택 기술의 제한

앞서 언급한 바와 같이, 사이드링크 수신 능력들이 없는 디바이스들을 지원하기 위한 경우를 고려할 경우 P-UE를 위해서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D와 마찬가지로 랜덤 기반의 자원 선택 방식이 필요하다. 이는 단말의 파워 소비 감소 측면에서도 가장 큰 이득을 가지는 방법이다. 상대적으로 높은 이동 속도 및 특정 지역 내의 많은 수의 단말들이 존재할 수 있는 환경 등 PC5 링크 기반의 D2D와는 다른 V2X의 통신 환경을 고려할 경우, 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 PC5 링크 기반의 D2D를 위해 정의되었던 TRP 기반의 자원 선택 방식을 개선한 랜덤 기반의 자원 선택 방식이 필요하다. 따라서, 이하 본 논문에서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2에서의 자원 선택

방식을 개선한 V2X(특히 V2P/P2V)에서의 랜덤 기반의 자원 선택 방식에 대해 제안한다.

PC5 링크 기반의 D2D에서의 자원 선택 방식에서 총 가능한 TRP의 최대 개수는 128개이다. 이는 PC5 기반의 D2D에서는 유효한 개수였지만, 디바이스로 차량(vehicle)을 고려하는 V2X의 경우 교차로 등 특정 지역 내에 많은 수의 차량이 존재할 수 있으므로 상기 TRP의 개수로는 데이터 전송 시 충돌을 피할 수 없을 확률이 커지게 된다. 따라서, TRP의 개수를 늘려서, 보다 향상된 랜덤 자원 선택(enhanced random resource selection) 방안이 필요하다.

이를 위해 그림 7에서 보는 것과 같이 하나의 PSCCH 주기 내에서 총 L_{PSSCH} 개의 서브프레임들로 구성되는 데이터를 위한 서브프레임 풀에 대하여 N_{TRP} 개의 서브프레임들에 대응되는 TRP를 반복 적용되는 것과는 달리, 본 논문에서는 그림 8에서와 같이 상기 TRP가 매 적용마다 달리 적용되는 것을 제안한다. 만약 하나의 PSCCH 주기 내에서 데이터를 위한 서브프레임 풀에 해당하는 L_{PSSCH} 개의 서브프레임들에 대해 TRP의 적용 회수를 N 이라고 한다면, 최대 128^N 개의 서로 다른 패턴의 적용이 가능하다. 이 때, N 의 값은 아래 식 (1)과 같다.

$$N = \lceil L_{PSSCH} / N_{TRP} \rceil \quad (1)$$

앞서 언급한 것과 같이, PC5 링크 기반의 D2D에서의 자원 선택 방식에서 총 가능한 TRP의 최대 개수는 128개이다. 하지만, 표 1에서 보는 것과 같이 LTE 사이드링크에서 각각의 듀플렉스(duplex) 및 전송 모드에 따라 TRP를 위한 파라미터 값들에서 그 구성 가능한 값들이 서로 다르며, 따라서 구성 가능한 TRP의 개수도 서로 다르다. 예를 들어, 전송 모드 1에서 FDD와 TDD 상/하향링크 구성 1, 2, 4 및 5의 경우, N_{TRP} 는 8이며, K_{TRP} 는 1, 2, 4 및 8 모두가 가능하다. 이 경우, K_{TRP} 가 1인 경우에서 8가지, K_{TRP} 가 2인 경우에서 28가지, K_{TRP} 가 4인 경우에서 70가지, K_{TRP} 가 8인 경우에서 1가지로 총 107가지의 TRP가 가능하

며, 이 때 총 107개의 TRP는 각각 $I_{TRP} = \{0, 1, \dots, 106\}$ 으로 대응된다. 다른 예를 들어, 전송 모드 1에서 TDD 상/하향링크 구성 0의 경우, N_{TRP} 는 7이며, K_{TRP} 는 1, 2, 3, 4, 5, 6 및 7 모두가 가능하다. 이 경우, K_{TRP} 가 1/2/3/4/5/6/7인 경우에서 각각 7가지/21가지/35가지/35가지/21가지/7가지/1가지로 총 127가지의 TRP가 가능하며, 이 때 총 127개의 TRP는 각각 $I_{TRP} = \{1, \dots, 127\}$ 로 대응된다. 또 다른 예를 들어, 전송 모드 1에서 TDD 상/하향링크 구성 3 및 6의 경우, N_{TRP} 는 6이며, K_{TRP} 는 1, 2, 3, 4, 5 및 6 모두가 가능하다. 이 경우, K_{TRP} 가 1/2/3/4/5/6인 경우에서 각각 6가지/15가지/20가지/15가지/6가지/1가지로 총 63가지의 TRP가 가능하며, 이 때 총 63개의 TRP는 각각 $I_{TRP} = \{1, \dots, 63\}$ 로 대응된다. 한편, 전송 모드 2의 경우 표 1에서 보는 것과 같이, 전송 모드 1과 TRP의 구성 방식이 동일하고, 최대 구성 가능한 TRP의 개수에 대하여 각각의 TRP를 넘버링하기 위한 I_{TRP} 의 구성도 동일하나, 전송 모드 1에서는 모든 TRP 중 하나를 선택하여 쓸 수 있었는데 반해, 모드 2에서는 가능한 K_{TRP} 에 대응되는 TRP들 중에서만 하나를 선택하여 쓸 수가 있다.

PC5 링크 기반의 D2D에서의 경우 총 가능한 TRP들 중에서 하나를 선택하고(이 때, 전송 모드 1의 경우 기지국이 선택하여 D2D에서 데이터를 전송하는 단말에게 지시하며, 전송 모드 2의 경우 D2D에서 데이터를 전송하는 단말 스스로 선택하게 됨), 이 선택된 TRP를 하나의 PSCCH 주기 내에서 반복 적용하여 사용하게 된다. 이 때, 선택된 TRP는 사이드링크에서 제어 정보를 전송하기 위한 정보인 SCI에 포함되어 D2D에서 데이터를 전송하는 단말로부터 수신하는 단말로 지시되게 되며, 이 때 지시되는 정보가 선택된 TRP에 대응되는 I_{TRP} 값이다.

본 논문에서 제안하는 V2X에서의 보다 향상된 랜덤 자원 선택을 위한 TRP의 경우, 선택된 TRP가 하나의 PSCCH 주기 내에서 반복 적용되는 것이 아니라, 시간 축 상에서 매 적용마다 달리 적용된다. 이를 위해서는, 하나의 PSCCH 주기 내에서 N 번의 TRP 적용을 위해 1개의 선택된 TRP가 아닌 총 N 개의 TRP가 필요하게 된다. 이 N 개의 TRP 모두를 각각 선택하고(V2X에서 전송 모드 1에 대응되는 모드의 경우 기지국이 N 개의 TRP를 모두 선택하여 V2X 데이터 전송 단말에서 지시하고, V2X에서 전송 모드 2에 대응되는 모드의 경우 V2X 데이터 전송 단말 스스로가 N 개의 TRP 모두를 스스로 선택 함), 이 N 개의 TRP 모두를 SCI를 통해 V2X 데이터 전송 단말로

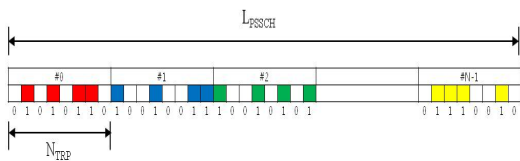


그림 8. V2X를 위해 본 논문에서 제안하는 TRP 구성 예
Fig. 8. Example of TRP proposed in this paper for V2X

부터 수신 단말로 지시할 경우, 그 복잡성과 시그널링 오버헤드(overhead)가 급격하게 증가하는 단점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 기존 SCI에 포함되어 이미 지시되는 단말-특정(UE-specific)한 값을 시드(seed) 값으로 의사-랜덤 시퀀스 생성기(pseudo-random sequence generator)에 의하여 생성된 의사-랜덤 시퀀스를 기반으로 TRP를 선택하여 지시하는 방법을 제안한다.

상기 의사-랜덤 시퀀스 생성기의 시드 값은 V2X에서 각 단말을 위한 TRP의 충돌을 최대한 막기 위해 단말-특정(UE-specific)한 값으로 구성되어야 하며, 시그널링 오버헤드를 줄이기 위해 기존에 이미 지시되어 사용된 정보 값을 사용한다. 즉, V2X에서 데이터 전송 단말로부터 수신 단말로 제어 정보를 지시하기 위해 사용되는 정보인 SCI에 포함되어 기 지시된 정보를 사용하는 것이다. 그 예로는, D2D처럼 SCI에 포함된 단말 고유의 ID(identity) 정보일 수도 있으며, 또는 단말 별로 달리 설정되어 SCI 전송 시 첨부되어 전송되는 CRC(Cyclic Redundancy Check) 등이 시드 값이 될 수가 있다. 각 시드 값을 초기화 값으로 하여 매 PSCCH 주기마다 초기화하여 생성된 의사-랜덤 시퀀스에 대하여 7개의 이진 비트(binary bit) 단위로 시퀀스 값을 각각 끊어서 각각의 TRP를 위한 I_{TRP} 값을 산출하고, 이를 PSCCH 주기 내에서 각각 적용한다. 이 때, 7개의 이진 비트 단위로 시퀀스 값을 끊어서 I_{TRP} 값을 산출하는 이유는, 7개의 이진 비트는 십진법으로 표현 시 총 $2^7=128$ 개의 값이며, 이것이 최대 128개의 I_{TRP} 값에 대응될 수 있기 때문이다.

이를 고려하여, 하나의 PSCCH 주기 내에서 매 TRP의 적용 시 본 논문에서 제안하는 V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 수학식으로 표현하면 아래 식 (2) 및 식 (3)과 같다. 식 (2)는 V2X에서 전송 모드 1에 대응되는 모드(즉, 기지국 스케줄링 모드)에서 사용될 수 있으며, 식 (3)은 V2X에서 전송 모드 2에 대응되는 모드(즉, 단말 자동 선택 모드)에서 사용할 수 있다. 수학식 (2) 및 수학식 (3)에서 $c(i)$ 는 의사-랜덤 시퀀스 생성기에 의해 생성된 의사-랜덤 시퀀스로, 이는 차수가 31인 골드-시퀀스(Gold-sequence)^[11] 기반의 시퀀스일 수가 있다.

$$I_{TRP}' = \left(I_{TRP,ini} + \sum_{i=0}^6 c(7(n-1) + i) \cdot 2^i \right) \bmod A \quad (2)$$

$$I_{TRP}' = \left(\sum_{i=0}^6 c(7n + i) \cdot 2^i \right) \bmod B \quad (3)$$

V2X에서 전송 모드 1에 대응되는 모드(즉, 기지국 스케줄링 모드)에서 사용될 수 있는 상기 식 (2)에서, $n=1, 2, 3, \dots, N-1$ 일 수가 있다. 이 때, N 은 상기 식 (1)에서 정의된 값이다. 기지국이 선택하여 DCI로 지시한 첫 TRP의 적용 시 사용되는 I_{TRP} 값인 $I_{TRP,ini}$ (이는 $n=0$ 인 경우에 대응됨)으로부터 의사-랜덤 시퀀스에 의하여 그 이후의 TRP의 적용(이는 $n=1, 2, \dots, N-1$ 인 경우에 대응됨) 시 사용되는 TRP들이 랜덤하게 구성되는 것이다.

식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하지 않으며 FDD와 TDD 상/하량링크 구성 1, 2, 4 및 5인 경우, $A=107$ 이며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 식 (2)의 I_{TRP}' 가 된다. 식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하지 않으며 TDD 상/하량링크 구성 0인 경우, $A=127$ 이며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 식 (2)의 I_{TRP}' 에 1을 더한 $I_{TRP}'+1$ 이 된다. 식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하지 않으며 TDD 상/하량링크 구성 3 및 6인 경우, $A=63$ 이며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 식 (2)의 I_{TRP}' 에 1을 더한 $I_{TRP}'+1$ 이 된다.

한편, 식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 FDD와 TDD 상/하량링크 구성 1, 2, 4 및 5인 경우, A 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 4, 8\}$ 중 최초 사용된 $K_{TRP}(n=0)$ 일 때, 즉 $I_{TRP,ini}$ 일 때의 K_{TRP} 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 4, 8\}$ 중 최초 사용된 $K_{TRP}(n=0)$ 일 때, 즉 $I_{TRP,ini}$ 일 때의 K_{TRP} 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (2)의 I_{TRP}' 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다. 식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 0인 경우, A 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 중 최초 사용된 $K_{TRP}(n=0)$ 일 때, 즉 $I_{TRP,ini}$ 일 때의 K_{TRP} 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 중 최초 사용된 $K_{TRP}(n=0)$ 일 때, 즉 $I_{TRP,ini}$ 일 때의 K_{TRP} 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (2)의 I_{TRP}' 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다. 식 (2)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 3 및 6인 경우, A 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 중 최초 사용된 $K_{TRP}(n=0)$ 일 때, 즉 $I_{TRP,ini}$ 일 때의 K_{TRP} 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에

해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때, 즉 I_{TRP_{ini}}$ 일 때의 K_{TRP}) 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (2)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다.

V2X에서 전송 모드 2에 대응되는 모드(즉, 단말 자동 선택 모드)에서 사용될 수 있는 상기 식 (3)에서, $n=0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ 일 수가 있다. 이 때, N 은 상기 식 (1)에서 정의된 값이다. 단말 스스로 첫 TRP의 적용(이는 $n=0$ 인 경우에 대응됨) 시부터 그 이후의 TRP의 적용(이는 $n=1, 2, \dots, N-1$ 인 경우에 대응됨) 시까지 사용되는 모든 TRP들을 의사-랜덤 시퀀스에 의하여 랜덤하게 구성하는 것이다.

식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 FDD와 TDD 상/하량링크 구성 1, 2, 4 및 5인 경우, B 는 $K_{TRP}=1, 2$ 및 4일 때에 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=1, 2$ 및 4일 때에 해당하는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다. 식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 0인 경우, B 는 $K_{TRP}=1, 2, 3, 4$ 및 5일 때에 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=1, 2, 3, 4$ 및 5일 때에 해당하는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다. 식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 3, 6인 경우, B 는 $K_{TRP}=1, 2, 3$ 및 4일 때에 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=1, 2, 3$ 및 4일 때에 해당하는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다.

한편, 식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 FDD와 TDD 상/하량링크 구성 1, 2, 4 및 5인 경우, B 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 4\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 4\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다.

식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 0인 경우, B 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다. 식 (3)에서 N_{TRP} 를 동일하게 유지하며 TDD 상/하량링크 구성 3 및 6인 경우, B 는 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들의 개수에 해당되며, V2X를 위한 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 최종 적용되는 I_{TRP} 값은 $K_{TRP}=\{1, 2, 3, 4\}$ 중 최초 사용 된 $K_{TRP}(n=0일 때의 K_{TRP})$ 값 내에서 해당되는 모든 TRP들을 0부터 순서대로 넘버링 한 후 식 (3)의 I_{TRP} 값에 해당하는 순서에 대응되는 값이다.

이를 TRP를 위한 파라미터 값이 실제로 구성되는 흐름에 따라 요약하면 다음과 같다.

- 종래 방법 1: 총 A개의 I_{TRP} 값들 중 기지국에 의해 지시된 하나의 값이 모든 TRP에 대하여 고정적으로 사용됨
- 제안 방법 1: 1) 총 A개의 I_{TRP} 값들 중 실질적으로 사용될 수 있는 값들만을 순서대로 리넘버링한 후, 2) 총 A개의 I_{TRP} 값들 중 기지국에 의해 지시된 하나의 값을 초기 값으로 하고(이 때 초기 값은 1)의 과정을 통해 리넘버링한 값을 기준으로 함), 3) 단말-특정된 시드 값을 가지고 생성된 의사-랜덤 시퀀스에서 매 TRP마다 7비트씩 끊어서 나온 값을 상기 초기 값에 더한 후, 3) 이 값을 모듈러 A 연산해서 나온 새로운 I_{TRP} 값인 I_{TRP} 에 듀플렉스(duplex) 구성에 따라 0 또는 1을 더한 값(이 값 역시 1)의 과정을 통해 리넘버링된 값에 대응됨)을 각각의 TRP를 위해 사용함
- 종래 방법 2: 총 B개의 I_{TRP} 값들 중 단말이 스스로 선택한 하나의 값이 모든 TRP에 대하여 고정적으로 사용됨
- 제안 방법 2: 1) 총 B개의 I_{TRP} 값들 중 실질적으로 사용될 수 있는 값들만을 순서대로 리넘버링한 후, 2) 단말-특정된 시드 값을 가지고 생성된 의사-랜덤 시퀀스에서 매 TRP마다 7비트씩 끊어서 랜덤한 값을 구한 후, 3) 이 값을 모듈러 B 연산해서 나온 새로운 I_{TRP} 값인 I_{TRP} 에 듀플렉스(duplex) 구성에 따라 0 또는 1을 더한 값(이 값 역시 1)의 과정을 통해

리넘버링된 값에 대응됨)을 각각의 TRP를 위해 사용함

IV. 성능 분석

본 논문에서 제안한 기술의 성능 분석을 위해, 하나의 PSCCH 주기 내에서 총 L_{PSSCH} 개의 서브프레임들로 구성되는 데이터를 위한 서브프레임 풀에 대하여 N_{TRP} 개의 서브프레임들에 대응되는 TRP를 반복 적용하는 기존 D2D에서의 자원 선택 방식에 대비하여, V2X에서의 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 제안된 기술로서 상기 TRP가 매 적용마다 달리 적용되는 경우 각 단말을 위해 할당된 자원의 충돌 확률이 얼마나 줄어드는지를 수치 분석을 통하여 비교하고자 한다. 이를 위해 아래 표 2 및 표 3과 같이 FDD에서 N_{TRP} 가 8일 때 K_{TRP} 가 각각 2 및 1인 경우에서, 공존하는 단말(User Equipment, UE)의 개수가 각각 2개에서 10개인 경우에 대해서 비교 분석을 하였다.

표 2는 $N_{TRP}=8$ 이고 $K_{TRP}=2$ 인 경우에서, 각각 단말의 개수가 2개에서 10개인 경우에서의 하나의 TB(Transmission Block)를 4번 반복 전송하기 위한 4번의 자원할당에 대하여 몇 번의 자원 충돌이 있는지 그 확률을 나타낸 표이다. 하나의 TB를 4번 반복 전송하는데 있어서 2번의 TRP의 적용이 필요하며, 4개의 자원 중 4개 모두가 충돌 날 경우, 데이터 전송이 실패하였으므로 재전송이 필요하다. 표 2에서 보는 것과 같이, 하나의 TRP를 반복 적용하는 기존 3GPP

표 2. 랜덤 자원 선택 방식 비교 1 (FDD, $N_{TRP}=8$, $K_{TRP}=2$)
Table 2. Comparison of random resource selection method 1 (FDD, $N_{TRP}=8$, $K_{TRP}=2$)

	# of UEs	0 collision among 4 resources	1 collision among 4 resources	2 collisions among 4 resources	3 collisions among 4 resources	4 collisions among 4 resources
Repetitions of one TRP (3GPP Rel-12/13 D2D)	2	53.57%	-	42.86%	-	3.57%
	3	28.70%	-	45.92%	-	25.38%
	4	15.37%	-	36.90%	-	47.73%
	5	8.24%	-	26.36%	-	65.41%
	6	4.41%	-	17.65%	-	77.94%
	7	2.36%	-	11.35%	-	86.29%
	8	1.27%	-	7.03%	-	91.64%
	9	0.68%	-	4.34%	-	94.98%
	10	0.36%	-	2.62%	-	97.02%
	Different TRP for each application (In this paper)	2	28.70%	45.92%	22.19%	3.06%
3		8.24%	26.36%	35.65%	23.31%	6.44%
4		2.36%	11.35%	28.29%	35.22%	22.78%
5		0.68%	4.34%	17.72%	34.48%	42.78%
6		0.19%	1.56%	9.99%	27.51%	60.74%
7		0.06%	0.54%	5.37%	19.58%	74.46%
8		0.02%	0.18%	2.82%	13.00%	83.98%
9		0.00%	0.06%	1.48%	8.25%	90.21%
10		0.00%	0.02%	0.77%	5.08%	94.13%

Rel-12/13 D2D에서의 경우 4개 자원 모두가 충돌될 확률이 높아서 자원 할당의 어려움이 있지만, 본 논문에서 V2X를 위해 제안한 매 TRP를 다르게 적용하는 방식의 경우 그 충돌 확률을 상대적으로 낮출 수가 있다. 특히 그림 9에서 보는 것과 같이, 4개 자원 중 4개 모두가 충돌될 확률이 10% 이내인 것을 자원 충돌 목표치로 고려할 경우, 하나의 TRP를 반복 적용하는 기존 3GPP Rel-12/13 D2D에서의 경우 2개 이하의 단말이 공존할 경우에만 그 목표치를 달성할 수가 있지만, 본 논문에서 V2X를 위해 제안한 매 TRP를 다르게 적용하는 방식의 경우 3개의 단말이 공존하는 경우까지 그 목표치를 달성할 수가 있다.

표 3은 $N_{TRP}=8$ 이고 $K_{TRP}=1$ 인 경우에서, 각각 단말의 개수가 2개에서 10개인 경우에서의 하나의 TB(Transmission Block)를 4번 반복 전송하기 위한 4번의 자원할당에 대하여 몇 번의 자원 충돌이 있는지 그 확률을 나타낸 표이다. 하나의 TB를 4번 반복 전송하는데 있어서 4번의 TRP의 적용이 필요하며, 4개의 자원 중 4개 모두가 충돌 날 경우, 데이터 전송이 실패하였으므로 재전송이 필요하다. 표 3에서 보는 것과 같이, 하나의 TRP를 반복 적용하는 기존 3GPP Rel-12/13 D2D에서의 경우 4개 자원 모두가 충돌될 확률이 $K_{TRP}=2$ 일 때 보다는 대부분 낮지만(단, 공존하는 단말의 수가 2개 일 때는 높음) 여전히 높아서 자원 할당의 어려움이 있지만, 본 논문에서 V2X를 위해 제안한 매 TRP를 다르게 적용하는 방식의 경우 그 충돌 확률을 매우 낮출 수가 있다. 특히 그림 10에서 보는 것과 같이, 4개 자원 중 4개 모두가 충돌될 확률이 10% 이내인 것을 자원 충돌 목표치로 고려할 경우, 하나의 TRP를 반복 적용하는 기존 3GPP Rel-12/13 D2D에서의 경우 2개 이상의 단말이 공존할 경우에는 그 목표치를 달성할 수가 없지만, 본 논문에서 V2X를 위해 제안한 매 TRP를 다르게 적용하

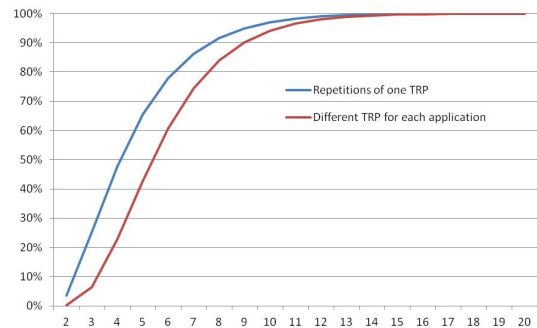


그림 9. 랜덤 자원 선택 방식 비교 1
Fig. 9. Comparison of random resource selection method 1

표 3. 랜덤 자원 선택 방식 비교 2 (FDD, $N_{TRP}=8$, $K_{TRP}=1$)
Table 3. Comparison of random resource selection method 2 (FDD, $N_{TRP}=8$, $K_{TRP}=1$)

	# of UEs	0 collision among 4 resources	1 collision among 4 resources	2 collisions among 4 resources	3 collisions among 4 resources	4 collisions among 4 resources
Repetitions of one TRP (3GPP Rel-12/13 D2D)	2	87.50%	-	-	-	12.50%
	3	76.56%	-	-	-	23.44%
	4	66.99%	-	-	-	33.01%
	5	58.62%	-	-	-	41.38%
	6	51.28%	-	-	-	48.71%
	7	44.88%	-	-	-	55.12%
	8	39.27%	-	-	-	60.73%
Different TRP for each application (In this paper)	2	58.62%	33.50%	7.18%	0.68%	0.02%
	3	34.36%	42.07%	19.32%	3.94%	0.30%
	4	20.14%	39.70%	29.34%	9.64%	1.19%
	5	11.81%	33.34%	35.30%	16.62%	2.93%
	6	6.92%	26.29%	37.45%	23.71%	5.63%
	7	4.06%	19.93%	36.72%	30.06%	9.23%
	8	2.38%	14.71%	34.13%	35.18%	13.60%
	9	1.39%	10.65%	30.52%	38.87%	18.56%
	10	0.82%	7.60%	26.53%	41.13%	23.92%

는 방식의 경우 7개의 단말이 공존하는 경우까지 그 목표치를 달성할 수가 있다.

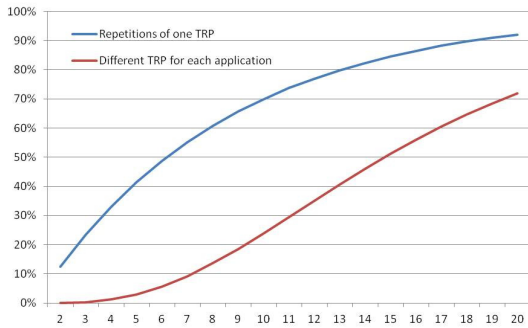


그림 10. 랜덤 자원 선택 방식 비교 2
Fig. 10. Comparison of random resource selection method 2

V. 결론

본 논문에서는 3GPP LTE 릴리즈-12/13에서 정의된 PC5 링크 기반의 D2D와는 다른 V2X의 통신 환경을 고려하여, PC5 링크 기반의 D2D에서 정의되었던 TRP 기반의 자원 선택 방식을 개선한 랜덤 기반의 자원 선택 방식을 제안하였다. 즉, 하나의 PSCCH 주기 내에서 총 L_{PSCCH} 개의 서브프레임들로 구성되는 데이터를 위한 서브프레임 풀에 대하여 N_{TRP} 개의 서브프레임들에 대응되는 TRP를 반복 적용하는 기존 D2D에서의 자원 선택 방식을 개선하여, 보다 향상된 랜덤 자원 선택 방식을 위해 단말-특정한 시드 값을

가지는 의사-랜덤 시퀀스를 바탕으로 상기 TRP가 매 적용마다 달리 적용되는 방식을 제안하였다.

수치 분석을 통한 성능 분석 결과, TRP를 반복 적용하는 기존 D2D에서의 자원 선택 방식에 대비하여, 본 논문에서 제안된 TRP가 매 적용마다 달리 적용되는 방식의 경우, 데이터 TB을 위해 각 단말에게 할당된 자원들 간의 충돌 확률이 확연하게 줄어드는 것을 확인하였으며, 이를 통해 자원 출동을 최대한 피하면서 동시에 자원할당이 가능한 단말의 개수를 늘릴 수가 있기에 자원 할당의 유연성을 증가시킬 수 있는 장점이 있었다.

따라서, V2X에서 사이드링크 수신 능력들이 없는 디바이스들 지원하기 위한 경우가 고려되며 단말의 파워 소비 감소가 요구되는 P-UE의 사이드링크 데이터 전송을 위한 자원 할당을 위해서, 본 논문에서 제안한 랜덤 기반의 자원 선택 방식의 적용이 가능할 것이다.

References

- [1] 3GPP TR 36.885 V14.0.0, *Study on LTE-based V2X Services* (Release 14), Jun. 2016.
- [2] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," *IEEE Commu. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [3] 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.
- [4] X. Lin, et al., "An overview of 3GPP device-to-device proximity services," *Commun. Mag.*, pp. 40-48, Apr. 2014.
- [5] Y. H. Shim and Y. H. Kim, "Data dissemination in LTE-D2D based vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no 3, pp. 602-612, Apr. 2015.
- [6] H. M. Kim, H. N. Lee, and S. K. Kim, "Sector-based device discovery scheme for D2D communication in LTE-Advanced networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1521-1531, Apr. 2015.
- [7] 3GPP TR 36.843 V12.0.1, *Study on LTE Device to Device Proximity Services; Radio Aspects* (Release 12), Mar. 2014.

- [8] 3GPP TR 36.211 V13.3.0, *E-UTRA; Physical channels and modulation* (Release 13), Sept. 2016.
- [9] 3GPP TR 36.212 V13.3.0, *E-UTRA; Multiplexing and channel coding* (Release 13), Sept. 2016.
- [10] 3GPP TR 36.213 V13.3.0, *E-UTRA; Physical layer procedures* (Release 13), Sept. 2016.
- [11] P. Fan, and M. Darnell, *Sequence Design for Communication Applications*, Research Studies Press Ltd., pp. 119-123, 1996.

윤 성 준 (Sung-jun Yoon)



2004년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 졸업
2007년 8월 : 연세대학교 전기
전자공학과 석사
2008년 1월~2013년 8월 : (주)
팬택 표준연구팀 전임연구원
2013년 9월~현재 : (주)아이티
엘 표준연구실 책임연구원
<관심분야> LTE 및 5G 이동통신 표준화, V2X,
D2D, MIMO, CoMP, sequence/signal design

최 상 원 (Sang Won Choi)



2002년 2월 : 고려대학교 전기
전자전파공학부 졸업
2004년 3월 : KAIST 전자전산
학과 전기 및 전자공학전공
석사
2010년 1월 : KAIST 전기 및
전자공학과 박사

2010년 2월~2014년 3월 : 삼성전자 무선사업부 책임
연구원
2014년 4월~현재 : 한국철도기술연구원 ICT융합연구
팀 선임연구원
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 통신 신호처
리, 특수 목적 통신, 공공 안전망, 단말 알고리즘
개발, 머신러닝, ICT융합기술 연구개발

권 기 범 (Ki-bum Kwon)



2003년 2월 : 아주대학교 전자
공학과 졸업
2005년 2월 : 아주대학교 전자
공학과 석사
2007년 2월 : 아주대학교 전자
공학과 박사 수료
2007년 5월~2008년 10월 : (주)
이오닉스 전임연구원
2009년 4월~2013년 8월 : (주)팬택 표준연구팀 선임
연구원
2013년 9월~현재 : (주)아이티엘 표준연구실장
<관심분야> LTE 및 5G 이동통신 표준화, V2X,
D2D, CA

박 동 현 (Dong-hyun Park)



2006년 2월 : 세종대학교 정보
통신공학과 졸업
2008년 2월 : 세종대학교 정보
통신공학과 석사 졸업
2017년 2월 : 세종대학교 정보
통신공학과 박사 졸업
2008년 1월~2009년 9월 :
POSCO ICT 연구원

2009년 10월~2013년 8월 : (주)팬택 표준연구팀 전
임연구원
2013년 9월~현재 : (주)아이티엘 표준연구실 책임연구원
<관심분야> LTE 및 5G 이동통신 표준화, V2X,
D2D, NB-IoT, CA, LAA

리 지 안 준 (Jianjun Li)



1996년 7월 : 서안대학교 마이
크로전자공학 졸업
1997년 2월 : 서안대학교 무선
통신공학 석사
2002년 7월 : 칭화대학교 무선
통신공학 박사
2009년 5월~2013년 8월 : (주)

팬택 표준연구팀 전임연구원
2013년 9월~현재 : (주)아이티엘 표준연구실 책임연
구원
<관심분야> LTE 및 5G 이동통신 표준화, V2X,
D2D, MIMO