

LTE 차량 간 통신을 위한 DM-RS 구조 연구

백 정 연*, 박 지 혜*, 홍 인 기°

A Study on DM-RS Structure for LTE V2V Communications

Jung-Yeon Baek*, Ji-Hye Park*, Een-Kee Hong°

요 약

3GPP에서는 LTE sidelink기술을 이용한 V2V(Vehicle to Vehicle)통신 표준에 대한 연구를 진행 중이다. 고속의 차량 간 통신이라는 점에서 기존 sidelink기술을 그대로 적용하기에 부적합한 부분이 존재하는데, 일반적으로 3km/h의 도보이용자를 기준으로 하였던 기존 DM-RS(Demodulation Reference signal)구조를 통해서는 120km/h로 이동하는 차량 통신에서 필요한 채널 추정 정보를 얻기에 부족하다. 본 논문에서는 빠른 채널 변화 특성을 갖는 차량 간 통신에서 필요한 향상된 DM-RS 구조에 대해서 알아보고, 각각의 DM-RS구조들에 의한 채널 추정 정확도를 비교 분석 하였다. 시뮬레이션 결과 확장된 반송파 주파수를 사용함으로써 반송파 간 간섭을 방지하여 빠르게 변하는 채널 상황에서 보다 정확한 채널 추정 값을 얻을 수 있었다. 그러나 확장된 반송파 주파수는 Cyclic prefix에 의해 큰 오버헤드를 갖게 되어 결과적으로 기존의 반송파 주파수를 유지하면서 높은 밀도를 가지는 DM-RS 구조가 차량 간 통신에 적합 할 것으로 보여 진다.

Key Words : Vehicle-to-Vehicle, V2V, Sidelink, Demodulation Reference Signal, Channel Estimation

ABSTRACT

The study on ‘support for V2V(Vehicle to Vehicle) services based on LTE sidelink’ has been carried out in 3GPP RAN working group. The conventional LTE sidelink technology is not adequate for high speed V2V communications because the conventional DM-RS(Demodulation Reference signal) structure is developed for pedestrian environment. While the typical speed of pedestrian environment is 3km/h, that of V2V communications is 120 km/h and the information on channel estimation is not sufficient with legacy DM-RS structure. In this paper, improved DM-RS structures for V2V communications that have rapid channel variation are introduced and the performance of channel estimation accuracy is analyzed. Simulation results show that the performance improvement of channel estimation can be achieved based on extended sub-carrier spacing structure resulted from reduced inter-carrier interference. However, the extended sub-carrier spacing requires the longer cyclic prefix and higher overhead. As a results of considerations on DM-RS modification, the sub-carrier spacing is maintained and the high density of DM-RS is applied for V2V communications.

I. 서 론

최근 사물 간 통신에 대한 관심이 늘어나면서 이에

대한 응용으로 차량 간 통신에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 따라서 이제 차량은 단순히 이동 수단 기능만이 아닌 안전과 오락을 위한 정보 제공의 기능

* First Author : Kyunghee University Department of Electronics and Radio Engineering, hi369hi@khu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Kyunghee University Department of Electronics and Radio Engineering,, ekhong@khu.ac.kr, 종신회원

* Kyunghee University Department of Electronics and Radio Engineering, ppjh1632@khu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-08-219, Received August 31, 2016; Revised October 12, 2016; Accepted January 12, 2017

까지 담당하게 되면서 우리 생활에 더욱 중요한 역할을 하게 되었다. 이에 따라 차량 간 통신에 대한 다양한 응용 사례 및 시나리오들이 제시되고 있으며, 그 중 일부는 사업화 및 표준화로 진행 중에 있다⁹⁾. V2X(Vehicle to Everything)통신은 V2V(Vehicle to Vehicle), V2P(Vehicle to Pedestrian), V2I(Vehicle to Infrastructure), V2N(Vehicle to Network)를 통칭하며 3GPP에서는 2014년 12월부터 V2X서비스를 위한 연구 아이টে็ม으로 Study on LTE Support for V2X 서비스를 선정하여 표준화를 추진하고 있다. 해당 요구사항을 충족하는 시스템을 개발하기 위해 3GPP 무선접속기술 표준화를 담당하는 RAN에서는 Support for V2V services based on LTE sidelink 라는 연구 아이টে็ม으로 2017년 3월 완료료 목표표로 표준화를 진행하고 있다^{1,4,6-8)}.

LTE-D2D(Device to Device)라고도 불리는 LTE sidelink기술은 반경 내에 있는 단말 간 직접 통신이 가능한 근거리 무선 통신 기술 중 하나로 기지국과의 통신 또는 피코셀/펄토셀 등의 초소형 기지국의 중계 없이도 단말 간 상호 접속 지원이 가능하다. 인접한 단말 간의 sidelink가 설정된 후에는 송수신 데이터를 기지국을 거치지 않고 sidelink를 통해 정보를 주고받는다^{9,10)}. Rel-13까지 완료된 LTE sidelink 기술을 V2V서비스를 위한 기반 기술로 선택하게 된 데에는 일반 단말기와 달리 고속으로 이동하는 차량의 경우 지연에 대해 민감하기 때문에 기지국과의 통신이 필수적인 상황링크, 하향링크 기술로는 원하는 요구사항을 충족하기 어렵기 때문이다. 또한 인프라가 구축되지 않거나 네트워크 커버리지를 벗어난 지역에서도 차량 간의 직접 통신이 가능하여야 하기 때문이다⁵⁾. 그러나 sidelink를 V2V통신에 곧 바로 적용하기에는 몇 가지 문제점이 존재한다. 기존 이동통신 사용자와 비교하여 고속의 차량은 큰 도플러 효과가 발생하는데 3km/h와 120km/h의 속도를 가지는 이동체를 비교하였을 때 약 40배 큰 도플러 주파수를 갖게 된다. 이는 곧 채널 코히런스 시간의 길이가 그의 역수 배 만큼 짧아지는 것에 해당하므로 시간 측면에서 빠르게 변하는 채널특성을 갖게 된다. 현재 물리계층 자원은 1ms 서브프레임이 14개의 심볼로 구성되어 하나의 심볼 당 약 0.071ms길이를 갖는다. 약 0.045ms의 코히런스 시간을 갖는 120km/h의 이동체의 경우 심볼 구간 동안 채널 특성이 변하는 빠른 페이딩을 경험하게 된다. 이 때문에 기존 sidelink의 DM-RS(Demodulation Reference Signal)를 통한 채널 추정 방법으로는 목표 BLER(BLOCK Error Rate)성능을 만

족하지 못하므로 더 많은 개수의 혹은 더 짧은 심볼 길이를 갖는 DM-RS 구조가 필요하다¹¹⁾.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 고려되고 있는 DM-RS 구조로는 첫 번째로 빠르게 변하는 채널을 정확하게 추정하기 위해 같은 시간 내에 보내지는 DM-RS의 개수를 늘리는 방법, 두 번째로 기존에 시간 축에서 1ms의 길이를 갖는 서브프레임 간격을 차량의 코히런스 시간에 적합하게 감소시키는 방법 마지막으로는 위의 두 가지 방법을 동시에 적용하는 하이브리드 방법 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 제안 방식간의 성능을 채널 추정 정확도와 블록 에러율 측면에서 비교 분석하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. II장은 V2V통신과 같이 시간에 따라 빠르게 변하는 채널에 적합한 새로운 DM-RS 구조 대해 설명한다. III장에서는 새로운 DM-RS구조의 채널 추정에 대한 정확도를 수치적으로 확인해 보기 위한 성능 시뮬레이션 결과와 분석을 보이고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. LTE V2V 통신을 위한 DM-RS 구조

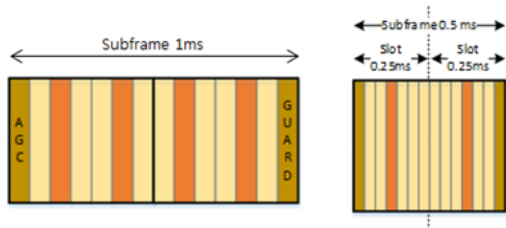
Sidelink는 기존의 셀룰러 네트워크와 공존하여 통신이 이루어진다. 우선적으로 셀룰러 채널들을 보호하기 위한 방법으로 sidelink는 셀룰러 통신에 간섭을 최대한 적게 주도록 상향링크 자원을 사용하여 통신이 이루어진다. 단말기 개수에 비해 기지국의 개수가 현저하게 적으므로 간섭의 영향을 받는 범위를 적게 하기 위한 이유이다. 때문에 기존 상향링크에서 물리 채널들의 코히런스 복조를 위하여 기지국이 채널 추정을 하는데 사용하기 위해 보내지는 DM-RS 구조가 sidelink에서도 그대로 사용된다[15-16]. 차이점이라면 기지국을 거치지 않는 차량 간 통신이기 때문에 정보를 수신하는 차량이 코히런스 복조에 필요한 채널 정보를 얻기 위해 DM-RS가 사용된다고 볼 수 있다. 15kHz 반송파 간격을 기준으로 1ms(1개 서브프레임)당 2번의 DM-RS가 전송 되고(4,11번 OFDM 심볼) sidelink가 전송되는 전 주파수 대역에 걸쳐 보내진다. OFDM 시스템에서는 직교성이 만족되도록 FFT 주기와 부반송파 간격이 설정되는데 최대 4.8kHz의 반송파 주파수 오프셋을 가지는 차량 간 통신에서는 반송파 주파수 오프셋이 보상되지 못하고 부 채널 간 간섭이 발생하여 각 부반송파를 독립적인 채널로 볼 수 없어진다¹⁷⁾. 때문에 기존의 DM-RS 구조는 신뢰도 높은 채널 추정을 하기에 충분하지 못하다. 만족하는 복조 성능을 얻기 위해서는 DM-RS를 통한 채널 추정

기술의 보완이 필요하다⁷⁾.

새로운 DM-RS 구조에 고려되어야 하는 사항으로 는 첫째, 고속의 차량 속도로 인하여 채널 상태가 빠르게 변화하기 때문에 기존의 DM-RS 구조보다 더 많은 DM-RS를 전송할 필요가 있고 둘째, 도플러 확산이 크기 때문에 심볼 주기를 줄여야 할 필요가 있다. 마지막으로 차량 간 통신과 같이 운전자의 안전을 위해 지연에 매우 민감한 서비스의 경우 구조의 복잡도 역시 고려되어야 한다. 그림 1에 위의 고려된 사항들을 반영한 새로운 DM-RS 구조를 나타내었다^{6,8)}.

<Case1> 높은 밀도의 DM-RS (그림 1 (a)): 시간 축에서 빠르게 변하는 채널을 통해 전송된 신호를 수신 단에서 정확하게 복조하기 위해서는 시간 축에서 더 높은 밀도로 DM-RS를 보냄으로써 채널에 의해 왜곡된 신호에서 적절하게 송신 신호를 검출해 낼 수 있다. 이러한 아이디어를 바탕으로 한 서브프레임에 2배 큰 밀도를 가지는 4개 DM-RS 구조를 고려하였다.

<Case2> 반송파 주파수(f_s) 확장(그림 1 (b)): 도플러 주파수에 반비례하는 관계를 가지는 채널 코히런스 시간에 근접하도록 서브프레임 길이($\frac{1}{f_s}$)를 줄이면서 심볼 구간 동안의 채널 변화율을 줄이는 방법이다. 본 논문에서는 $f_s=30\text{kHz}$ 로 기존 대비 2배의 반송파 주파수 간격을 사용하였다. 중심 주파수 2GHz 에서 120km/h의 속도를 가지는 이동체는 약 0.045ms의 채널 코히런스 시간을 갖게 되는데 30kHz 반송파 간격의 경우 한 개의 OFDM 심볼 길이가 약 0.036ms 인 것을 고려하였을 때 심볼 구간 동안 채널 상태가 비교적 같게 유지된다고 볼 수 있다.



(a) High density DM-RS (b) Expanded subcarrier spacing

그림 1. 고속차량속도를 고려한 DM-RS 구조 변경 방안
Fig. 1. Proposed DM-RS structure for high speed vehicle

III. 성능 검증 및 시뮬레이션

표 1에 DM-RS 구조에 따른 성능 평가를 위한 시뮬레이션에 사용된 주요 파라미터를 나타내었다

DM-RS는 반송파 주파수 개수(n_s)길이의 Zadoff-chu sequence(C^i)를 사용하고, 채널 추정 값은 식 (1)과 같이 구할 수 있다^{2,3)}.

$$\hat{H}^i = \frac{C_R^i}{C_T^i} \quad C^i = C^i(1)C^i(2)\dots C^i(n_s) \quad (1)$$

시간 축에서 채널을 통과한 신호는 콘볼루션 연산으로 나타나는데 이는 주파수 도메인에서 단순한 곱연산으로 바뀌기 때문에 수신 차량에서 받은 DM-RS(C_R^i)를 송신 차량에서 사용한 오리지널 DM-RS 시퀀스(C_T^i)로 나누어 채널 추정 값을 얻었고 여기서 i 는 DM-RS가 전송되는 심볼 순서를 나타낸다. 전 주파수 대역을 통해 전송되는 DM-RS의 구조 특성 상 전 주파수의 채널 정보는 알 수 있지만 시간 축에서는 그렇지 않다. 때문에 DM-RS가 전송되지 않는 이외의 심볼 구간에서의 채널은 Cubic spine 보간 기법을 사용하여 채널 정보를 추정하였다^{11,14)}.

채널 추정의 정확도를 수치적으로 나타내기 위하여 추정한 채널 값을 바탕으로 실제 채널과의 차이를 RMS로 계산하여 분석하였다. 여기서 j 는 모든 심볼들을 나타낸다.

RMS value of channel estimation error

$$= \sqrt{E\{|H^j - \hat{H}^j|^2\}} \quad (2)$$

표 1. DM-RS 구조에 따른 성능평가를 위한 주요 파라미터
Table 1. Simulation parameter for performance of DM-RS structures

Carrier Frequency	2Ghz 6Ghz
System Bandwidth	10Mhz
Vehicle Velocity	120km/h
Antenna Configuration	1 Transmit Antenna 2 Receive Antenna
Channel Model	UMi, NLOS
Modulation and Channel Coding	QPSK 1/3 Turbo Coding

채널 추정 정확도 시뮬레이션 결과를 보기에 앞서 LTE 물리계층 처리 과정에 대해 간단히 설명하겠다. 물리 계층의 자원 할당 단위인 리소스 블록(Resource Block)은 주파수 축에서 12개의 서브캐리어와 시간 축에서 14개의 OFDM 심볼 총 168개의 리소스 원소들(Resource Elements)로 이루어진다. 제어 채널 전송은 없다고 가정할 때 기존 DM-RS 구조를 사용하는 경우 2개 OFDM 심볼이 DM-RS 전송으로 사용되므로 총 144개 리소스 원소가 데이터 전송에 사용되고 Case1 제안 구조에서는 4개 심볼이 사용되므로 120개 리소스 원소가 데이터 전송에 사용된다. 데이터가 보내질 수 있는 자원은 1개 리소스 블록 당 24개 리소스 원소만큼 줄어들게 된다. 3GPP 표준에 명시되어 있는 LTE 물리계층 과정을 따를 경우 채널 코딩을 통과한 비트들은 그림 2에서 보이는 것과 같이 원형 버퍼에 정해진 순서에 따라 쌓이고 Hybrid-ARQ (Automatic Repeat Request)의 리턴던시 버전(RV)에 따라 사용할 수 있는 리소스 원소 개수에 맞게 비트가 선택된다. 해당 비트들은 혼합화(Scrambling), 복호화(Modulation)를 거친 후 안테나를 통해 전송된다.

그림 3과 그림 4를 통해 Case1와 Case2 그리고 두 가지 Case를 모두 적용한 경우 모두 기존 DM-RS 구조보다 높은 채널 추정 정확도를 얻을 수 있다는 사실을 확인 할 수 있었다. 기존 반송파 주파수 간격(15kHz)을 유지하면서 DM-RS의 밀도를 높이는 방법 보다는 확장된 반송파 주파수 간격을 사용한 방법이 빠른 채널 변화에 조금 더 강하게 대응하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 도플러 효과에 의해 채널 코히런스 시간이 짧아지면서 심볼 구간 동안 채널이 변하는 빠른 페이딩을 경험하게 되는 것과 관련이 있다. 빠른 페이딩은 반송파 간의 직교성을 깨트리게 되고 이는 곧 반송파 간 간섭(Inter-Carrier Interference)을 발생시키는데 확장된 반송파 주파수의 경우 시간 축에서 심볼 길이를 줄일 수 있기 때문에 반송파간 간섭을 방지할 수 있다.

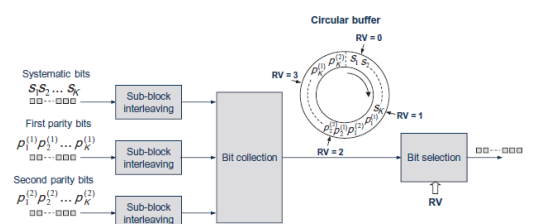


그림 2. LTE 물리계층 과정 중 레이트 매칭^[18]
Fig. 2. Rate Matching of LTE Physical layer processing

Case1는 반송파 간 간섭은 방지할 수 없지만 시간 축에서 더 많은 DM-RS를 전송하여 서브프레임 구간에서의 채널 추정 보간 값에 대한 정확도를 높일 수 있다. 위에서 설명한 대로 데이터를 전송하는데 사용할 수 있는 리소스 원소 개수는 감소하지만 동일한 데이터 양을 레이트 매칭 과정을 통해 코딩 레이트를 조절하여 해당 리소스 원소 양에 맞게 선택하는 것이기 때문에 결과적으로 전송되는 데이터 양은 같다. 때문에 Throughput의 차이는 없지만 오버헤드는 20%에서 33%로 증가하게 된다. 차량 간 통신은 일반적인 셀룰러 통신에서 전송되는 데이터에 비해 도로, 교통, 보행자 정보 또는 경고 메시지와 같은 간단한 메시지가 전송된다. 때문에 DM-RS의 증가로 인해 오버헤드가 다소 증가하더라도 낮은 에러율을 보장함으로써 신뢰도 높은 시스템을 구현하는 것이 바람직 할 것으로 보인다.

그림 3과 그림 4의 비교를 통해서 는 중심주파수와

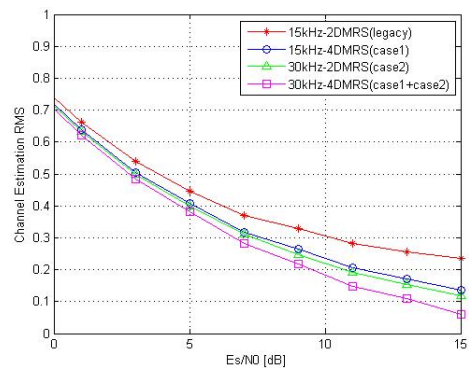


그림 3. DM-RS 구조에 따른 채널 추정 정확도 (중심 주파수: 2GHz)
Fig. 3. Channel estimation accuracy of DM-RS structures (Center frequency: 2GHz)

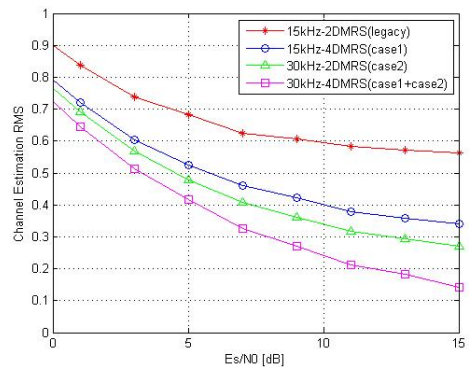


그림 4. DM-RS 구조에 따른 채널 추정 정확도 (중심 주파수: 6GHz)
Fig. 4. Channel estimation accuracy of DM-RS structures (Center frequency: 6GHz)

도플러 주파수간의 비례관계를 확인 할 수 있다. 중심 주파수가 높을수록 도플러 효과에 더 많은 영향을 받게 되면서 중심 주파수가 6GHz인 경우 기존 DM-RS 구조에서 SNR이 15dB 일 때 0.5보다 큰 RMS값을 나타내어 이는 채널 추정의 정확도가 매우 낮은 것을 의미하고 고주파 대역을 사용하게 될 V2V통신을 위해서는 DM-RS구조의 수정이 필수적임을 확인 할 수 있었다.

그림 5와 그림 6은 DM-RS구조에 따른 BLER 성능을 그래프로 나타낸 것이다. 채널 추정 정확도에서 확인 할 수 있었듯이 두 가지 Case 모두 기존의 DM-RS구조에 비해 낮은 에러율을 얻을 수 있었고 Case2가 Case1보다 조금 더 좋은 BLER성능을 얻을 수 있었다.

하지만 Case1과 Case2의 BLER 성능 차이는 크지

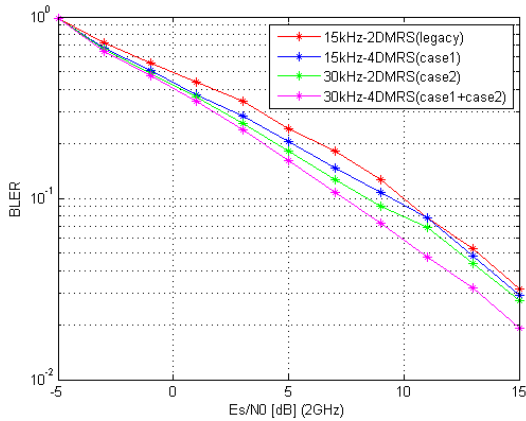


그림 5. DM-RS 구조에 따른 BLER (중심 주파수: 2GHz)
Fig. 5. BLER performance of DM-RS structures (Center frequency: 2GHz)

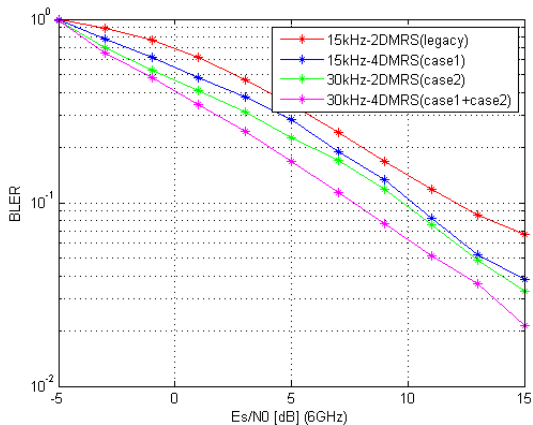


그림 6. DM-RS 구조에 따른 BLER (중심 주파수: 6GHz)
Fig. 6. BLER performance of DM-RS structures (Center frequency: 6GHz)

않은 것에 비해 Case2. 확장된 반송파 주파수를 사용하는 데에는 몇 가지 문제점이 존재한다. 가장 큰 문제점으로는 30kHz 반송파 주파수의 경우 Cyclic Prefix(CP)의 길이 또한 반으로 줄어든다.

이는 전파 지연의 길이가 긴 환경에 매우 민감하게 되고 시간 동기화가 정확하지 못한 경우에는 더욱 중요하게 작용한다. CP길이가 충분하게 확보되지 않은 경우 심볼 간 간섭(Inter-Symbol Interference)이 발생하기 때문에 환경에 맞게 필수적으로 CP길이를 확보 해주어야 한다. 30kHz 반송파 주파수 환경에 맞게 만약 긴 CP (extended CP)를 사용할 경우 서브프레임 구간에 OFDM 심볼 개수가 14개에서 12개로 줄어들게 되고 4개의 DM-RS 구조를 사용하는 경우 $1-1024*8/(1024+256)*12 = 0.467$ 최대 46.7%의 overhead를 가지게 되면서 성능을 매우 저하시킨다. 또한 자원할당의 단위가 되는 물리 자원 블록 (Physical Resource Block) 개수가 30kHz 반송파 주파수의 경우 15kHz 반송파 주파수에 비해 반으로 줄어들게 된다. 한 번에 전송될 수 없는 큰 패킷의 경우 Medium Access Control단에서 분할되어 2번의 서브프레임을 통해 전송되는데 이 역시 성능 저하의 원인이 된다. 마지막으로 기존 LTE기술에서 사용하였던 반송파 주파수 간격을 확장시켜 바꾸게 될 경우 수신기 구조의 여러 가지 변화가 필수적이기 때문에 표준 제정과 상용화 등에 더 많은 노력이 필요로 한다.

차량 간 통신을 위한 DM-RS구조에서는 반송파 주파수를 30kHz로 늘리는 방식이 성능이 가장 우수한 것으로 나타났지만 성능 향상의 이득보다는 대신 긴 CP를 사용하여야 하는 부담이나 기존 LTE 기술과의 호환성등의 이득이 더 클 것으로 보여 현재와 같은 15kHz 반송파 주파수를 그대로 사용하고 대신에 Case1. DM-RS의 밀도를 높이는 방식을 사용할 것으로 보여 진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP Rel-12에 정의된 sidelink기술을 기반으로 V2V통신의 서비스 표준화를 위해 개선이 필요한 DM-RS의 채널 추정 향상 구조를 소개하였다. 중심주파수가 높아지고 차량속도가 증가하였을 때 기존의 DM-RS 방식으로는 채널추정의 오류가 크게 증가한다는 사실을 채널 추정 RMS 결과를 통해 확인하였다. 차량 간 통신의 고려사항들을 기반 하여 제안된 높은 밀도의 DM-RS구조와 확장된(30kHz) 반송파 주파수 간격을 사용한 경우 모두 기존의 채널 추

정방법에 비해 더 높은 정확도를 얻음을 확인하였다. 확장된 반송파 주파수 구조가 기존 반송파 주파수 간격을 유지하면서 DM-RS 밀도를 증가시킨 경우 보다 조금 더 좋은 채널 추정 정확도를 얻을 수 있었지만 CP에 의한 오버헤드가 매우 크다는 단점을 갖는다. DM-RS 밀도를 증가시킨 경우 역시 기존 구조보다 오버헤드는 크지만 용인할 수 있는 정도로, 차량 간 통신에서 가장 중요한 신뢰도를 중점적으로 보았을 때 어려움이 더 낮게 나타났다. 결과적으로 차량 간 통신에서는 더 많은 개수의 DM-RS를 전송하여 빠르게 변하는 채널을 보다 정확하게 추정하는데 사용할 것으로 보여 진다.

References

[1] Intel Corporation, *Demodulation analysis for V2V communication*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #83, Anaheim, USA, 2015.

[2] ETSI TS 136 211 V13.0.0, *LTE; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation*, Jan. 2016.

[3] ETSI TS 136 213 V13.0.0, *LTE; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical procedure*, Jan. 2016.

[4] 3GPP TR 36.885 V0.4.0, *Study on LTE-based V2X services*, Dec. 2015.

[5] ETSI TS 136 213 V13.0.0, *LTE; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode*, Jan. 2016.

[6] Huawei, HiSilicon, *DMRS enhancement of V2V*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84, St Julian's, Malta, 2016.

[7] Intel Corporation, *Synchronization aspect for V2V/V2X communication*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #83, Anaheim, USA, 2015.

[8] Huawei, HiSilicon, *Further evaluation of DMRS for PSSCH/PSCCH*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84, Busan, Korea, 2016.

[9] Y. H. Shim and Y. H. Kim, "Data dissemination in LTE-D2D based vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 602-612, Mar. 2015.

[10] H. T. Roh and J. W. Lee, "Mobility management of M2M devices with grouping in the

LTE system," *J. KICS*, vol. 37, no. 12, pp. 1119-1127, 2012.

[11] S. W. Choi, I. G. Kim, and J. M. Ahn, "Uplink frequency offset compensation scheme for high-speed moving terminals," *J. KICS*, vol. 40, no. 09, Sept. 2015.

[12] Y. Mostofi and D. C. Cox, "ICI mitigation for plot-aided OFDM mobile systems," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 4, no. 2, Mar. 2005.

[13] Y. Kim, N. Kim, and E. Yoon, "Pilot assisted channel frequency response estimation for an OFDM system with a comb-type pilot pattern," *J. KICS*, vol. 39A, no. 6, pp. 333-342, Jun. 2014.

[14] J. W. Wee and Y. S. Cho, "A modified pilot symbol based channel estimation technique using cross-correlation for OFDM systems," *J. KICS*, vol. 36, no. 7, pp. 467-474, Jul. 2011.

[15] 3GPP TR 36.843 V12.0.1, *Study on LTE device to device proximity services*, Mar. 2014.

[16] X. Lin, "An overview of 3GPP device-to-device proximity services," *Commun. Mag.*, pp. 40-48, Apr. 2014.

[17] P. H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correlation," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 42, no. 10, Oct. 1994.

[18] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, "4G LTE/LTE-advanced for mobile broadband," *Elsevier*, pp. 203-246, 2011.

백 정 연 (Jung-Yeon Baek)



2015년 2월 : 경희대학교 전자
전파공학과 학사 졸업
2015년 9월~현재 : 경희대학교
전자전파공학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, D2D,
LTE-TDD

박 지 혜 (Ji-Hye Park)



2015년 2월: 경희대학교 전자
전파공학과 학사 졸업
2015년 3월~현재: 경희대학교
전자전파공학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, Link-
Adaptation

홍 인 기 (Een-Kee Hong)



1989년 2월: 연세대학교 전기
공학과 학사 졸업
1991년 2월: 연세대학교 전기
공학과 석사 졸업
1995년 8월: 연세대학교 전기
공학과 박사 졸업
1995년~1999년: SKT 선임연구원
1999년~현재: 한국통신학회 상임이사
1999년~현재: 경희대학교 전자전파공학과 교수
2012년~현재: 미래창조과학부 주파수 정책 자문위원
2014년~현재: 국무조정실 주파수 심의위원
2014년~현재: 5G 포럼 주파수 위원회 위원장
<관심분야> 이동통신, 5G