

논문 2017-54-3-1

LTE 기반 V2V 환경에서 새로운 채널 추정 기법

(Novel LTE based Channel Estimation Scheme for V2V Environment)

추 명 훈*, 문 상 미*, 권 순 호**, 이 지 혜*, 배 사 라*, 김 한 중***,
김 철 성****, 김 대 진****, 황 인 태****

(Myeonghun Chu, Sangmi Moon, Soohnho Kwon, Jihye Lee, Sara Bae, Hanjong Kim,
Cheolsung Kim, Daejin Kim, and Intae Hwang[©])

요 약

최근 3GPP에서는 급증하는 차량 사고에 대처하고, 교통 효율, 텔레매틱스와 인포테인먼트를 제공하기 위해 LTE(Long Term Evolution) 기반 차량 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량 통신은 안전과 밀접한 관련이 있기 때문에, 신뢰성 있는 통신을 필요로 한다. 하지만 차량의 속도는 매우 빠르기 때문에 기존 사용자의 이동성과는 달리 무선 채널이 시간에 따라 빠르게 변하게 되어 전송 품질 저하 등 많은 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 LTE 기반 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 환경에서 채널 추정 기법을 제안한다. 기존 기법인 LS(Least Square) 채널 추정은 송·수신단이 알고 있는 파일럿 심볼을 이용해 얻어지며, DDCE(Decision Directed Channel Estimation)는 데이터 심볼을 이용해 채널 추정을 하고, CDP(Constructed Data Pilot) 기법은 인접한 두 데이터 심볼 사이에서 상관성이 큰 특성을 이용하며, 그리고 STA(Spectral Temporal Averaging) 기법은 주파수와 시간 영역에서 채널을 평균을 취한다. 또한 Smoothing 기법은 데이터 결정 오류에 의한 최대치를 줄여준다. 제안 기법인 HRCE(Hybrid Reliable Channel Estimation)는 기존의 Smoothing 기법에 LMMSE(Linear Minimum Mean Square Error)를 적용함으로써 더 정확한 채널 추정이 이루어져 신뢰성 있는 데이터 검출을 가능하게 한다. 모의실험 결과, 제안한 기법이 NMSE(Normalized Mean Square Error)와 BER(Bit Error Rate) 측면에서 전체적으로 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

Abstract

Recently, in 3rd Generation Partnership Project(3GPP), there is a study of the Long Term Evolution(LTE) based vehicle communication which has been actively conducted to provide a transport efficiency, telematics and infotainment. Because the vehicle communication is closely related to the safety, it requires a reliable communication. Because vehicle speed is very fast, unlike the movement of the user, radio channel is rapidly changed and generate a number of problems such as transmission quality degradation. Therefore, we have to continuously updates the channel estimates. There are five types of conventional channel estimation scheme. Least Square(LS) is obtained by pilot symbol which is known to transmitter and receiver. Decision Directed Channel Estimation(DDCE) scheme uses the data signal for channel estimation. Constructed Data Pilot(CDP) scheme uses the correlation characteristic between adjacent two data symbols. Spectral Temporal Averaging(STA) scheme uses the frequency-time domain average of the channel. Smoothing scheme reduces the peak error value of data decision. In this paper, we propose the novel channel estimation scheme in LTE based Vehicle-to-Vehicle(V2V) environment. In our Hybrid Reliable Channel Estimation(HRCE) scheme, DDCE and Smoothing schemes are combined and finally the Linear Minimum Mean Square Error(LMMSE) scheme is applied to minimize the channel estimation error. Therefore it is possible to detect the reliable data. In simulation results, overall performance can be improved in terms of Normalized Mean Square Error(NMSE) and Bit Error Rate(BER)

Keywords : CDP, DDCE, HRCE, LTE, LMMSE, Smoothing, STA, V2V

* 학생회원, ** 정회원, 한국항공우주연구원 나로우주센터 (NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute)

*** 평생회원, 한국기술교육대학 정보기술공학부(School of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education)

**** 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (School of Electronics & Computer Engineering Chonnam National University)

© Corresponding Author (E-mail : hit@jnu.ac.kr)

※ 이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066568)

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015R1D1A1A01059397)

Received : June 7, 2016

Revised : February 2, 2017

Accepted : February 18, 2017

I. 서론

전 세계적으로 급증하는 차량 사고와 차량의 이동성, 교통효율에 대한 관심이 증가하면서 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신이 화두가 되고 있다^[1]. V2X는 V2V (Vehicle-to-Vehicle), V2P(Vehicle-to-Pedestrian), V2I (Vehicle-to-Infrastructure)로 유형이 나뉘질 수 있다. 기존 V2X 통신은 WAVE(Wireless Access in Vehicle Environment)의 DSRC(Dedicated Short Range Communication) 기반으로 이루어졌으며, 물리 계층을 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11p라 한다^[2]. IEEE 802.11p는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 기반으로 하며, IEEE 802.11a와 유사하다. 하지만 보안 및 유지 보수 문제가 있으며, 제한된 스펙트럼으로 인해 높은 전송률을 보장하지 못한다는 단점을 가진다.

최근 3GPP에서는 LTE 기반 차량 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 본 논문에서는 LTE 기반 V2V 환경에서 채널 추정 기법을 제안한다. LTE 시스템은 빠르고 신뢰성 있는 통신이 가능하고, QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있다. 또한, 텔레매틱스와 인포테인먼트를 좀 더 효율적으로 제공할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 시스템 모델을 정의하고 III장에서 기존의 채널 추정 기법에 대해 살펴본다. IV장에서는 HRCE(Hybrid Reliable Channel Estimation) 기법을 제안한다. V장에서는 모의실험 결과를 통해 성능 평가를 하고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 3GPP 표준화를 기반으로 SL(SideLink) 관점에서 연구를 수행하였다. 그림 1과 2는 SL 시스템의 송·수신단 블록도이다.

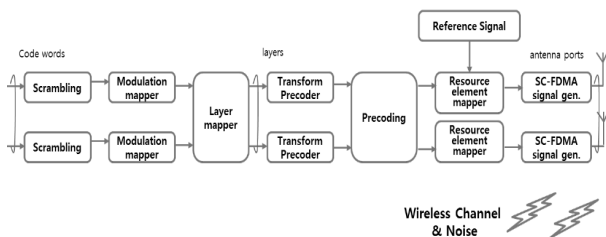


그림 1. 사이드 링크 시스템 송신단 구조도
Fig. 1. Transmitter block diagram in Sidelink system.

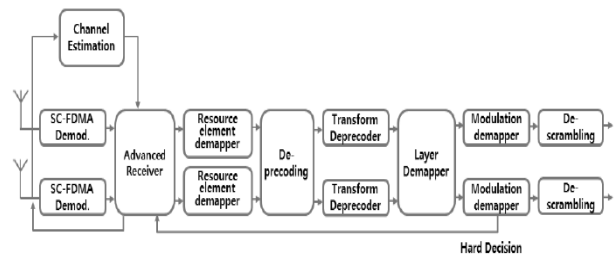


그림 2. 사이드 링크 시스템 수신단 구조도
Fig. 2. Receiver block diagram in Sidelink system.

III. 기존 채널 추정 기법

본 장에서는 기존의 채널 추정 기법에 대해서 다룬다.

가. LS

가장 기본적인 LS(Least Square) 채널 추정 기법에 대해 알아본다^[3]. 파일럿 심볼은 송·수신단 모두 알고 있는 신호이다. LS 채널 추정은 다음과 같이 이루어진다.

$$\hat{H}_{n,k} = \frac{Y_{n,k}}{X_{n,k}} \tag{1}$$

여기서 $\hat{H}_{n,k}$ 는 추정된 채널이며, $Y_{n,k}$ 는 수신한 파일럿 심볼, 그리고 $X_{n,k}$ 는 송신한 파일럿 심볼이다. n 과 k 는 OFDM 심볼 인덱스와 부반송파 인덱스를 나타낸다.

나. DDCE

DDCE(Decision Directed Channel Estimation)는 데이터 신호를 파일럿 심볼로 이용하여 채널을 추정하는 기법이다^[4].

Step 1) 등화

초기 LS로 추정한 채널을 이용해서 수신한 첫 번째 데이터 심볼을 등화한다.

$$\hat{S}_{n,k} = \frac{Y_{n,k}}{\hat{H}_{n-1,k}} \tag{2}$$

$\hat{S}_{n,k}$ 는 등화한 심볼이고, $Y_{n,k}$ 는 수신한 데이터 심볼, $\hat{H}_{n-1,k}$ 는 이전에 추정한 채널로 $\hat{H}_{0,k}$ 는 LS로부터 얻어진 채널이다.

Step 2) LS 채널 추정

채널을 추정하기 위해 등화한 심볼을 디매핑한 후 이

심볼을 이용하여 LS 채널 추정으로 다음 채널을 추정한다.

$$\hat{H}_{n,k} = \frac{Y_{n,k}}{\hat{X}_{n,k}} \quad (3)$$

여기서 $\hat{X}_{n,k}$ 는 디매핑한 심볼이다.

다. CDP

CDP(Constructed Data Pilot)는 인접한 두 데이터 심볼 사이에서 상관이 큰 특성을 이용해 채널 추정을 하게 된다^[5]. Step 1)은 DDCE 기법을 따른다.

Step 2) 데이터 파일럿 구성

DDCE 기법에서는 $\hat{S}_{n,k}$ 를 디매핑하여 $\hat{X}_{n,k}$ 를 구하게 된다. 이 심볼이 CDP 기법의 핵심이다. 잡음이나 간섭으로 인해 $\hat{S}_{n,k}$ 가 정상도의 잘못된 영역에 놓이게 되면 디매핑 한 심볼인 $\hat{X}_{n,k}$ 도 쉽게 정상도의 잘못된 각 지점에 찍힐 수 있다. 그러나 디매핑으로 인해서, 잡음이나 간섭이 부분적으로 완화될 수 있다. 남은 오류는 다음 과정인 두 개의 인접한 심볼 사이의 상관 특성을 이용해서 완화될 수 있다.

Step 3) LS 채널 추정

구성된 데이터 파일럿을 이용해 n 번째 심볼의 채널을 LS로 추정한다.

$$\hat{H}_{n,k} = \frac{Y_{n,k}}{\hat{X}_{n,k}} \quad (4)$$

Step 4) 등화 그리고 디매핑

$\hat{H}_{n,k}$ 는 $Y_{n-1,k}$ 를 등화하기 위해 첫 번째로 사용된다.

$$\hat{S}'_{n-1,k} = \frac{Y_{n-1,k}}{\hat{H}_{n,k}} \quad (5)$$

그리고 $Y_{n-1,k}$ 는 이전 심볼에서 추정된 채널인 $\hat{H}_{n-1,k}$ 에 의해서 등화된다.

$$\hat{S}''_{n-1,k} = \frac{Y_{n-1,k}}{\hat{H}_{n-1,k}} \quad (6)$$

$\hat{S}'_{n-1,k}$ 와 $\hat{S}''_{n-1,k}$ 를 비교하기 위해, 정상도 지점으로 디매핑을 하여 $\hat{X}'_{n-1,k}$ 와 $\hat{X}''_{n-1,k}$ 를 구한다.

Step 5) 비교

두 개의 인접한 데이터 심볼 사이에서 높은 상관특성을 이용한다. 만약 $\hat{X}'_{n-1,k} \neq \hat{X}''_{n-1,k}$ 이라면, k 번째 부반송파의 $\hat{X}_{n,k}$ 가 잘못된 값이며, $\hat{H}_{n,k} = \hat{H}_{n-1,k}$ 로 한다. 그렇지 않고, 만약 $\hat{X}'_{n-1,k} = \hat{X}''_{n-1,k}$ 이라면, $\hat{H}_{n,k} = \hat{H}_{n,k}$ 로 한다.

라. STA

STA(Spectral Temporal Averaging)는 데이터 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정 값을 이용해 주파수 영역과 시간 영역에서 평균을 취하는 기법이다^[6]. Step 1)과 Step 2)는 DDCE 기법을 따른다.

Step 3) 주파수 영역 평균

채널 추정한 값을 이용해 주파수 영역에서 평균값을 계산한다.

$$H_{n,k}^{(freq)} = \sum_{\lambda=-\beta}^{\lambda=\beta} \omega_{\lambda} H_{n,k+\lambda} \quad (7)$$

여기서 β 는 주파수 영역에서 얼마나 많은 부반송파를 평균 할 것인지에 대한 정수값이다. ω_{λ} 는 가중치 계수이며, $\omega_{\lambda} = \frac{1}{2\beta+1}$ 이다.

Step 4) 시간 영역 평균

주파수 영역에서 평균값을 계산 후, 시간 영역에서 평균을 취한다.

$$H_{n,k}^{(time)} = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) H_{n-1,k}^{(time)} + \frac{1}{\alpha} H_{n,k}^{(freq)} \quad (8)$$

여기서 α 는 $\alpha \geq 1$ 의 값을 가진다. 큰 α 값은 slow fading 채널에 적합하며, 또한 큰 β 값은 flat fading 채널에 적합하다. 반면에 작은 α 값과 β 값은 fast fading 채널과 frequency selective fading 채널에 적합하다.

마. Smoothing

Smoothing은 데이터 결정 오류에 의한 최대치를 줄여줌으로써 DDCE 기법과 결합했을 때 낮은 SNR (Signal to Noise Ratio)에서 좋은 성능을 보이게 된다^[7].

Step 1) 행렬 변환

수신된 파일럿 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Y = P \cdot F \cdot h + n = P \cdot F_L \cdot h_L + n \quad (9)$$

여기서 P 는 파일럿 신호를 입력으로 받는 대각 행렬이며, F 는 Fast Fourier Transform(FFT) 행렬이며, h 는 시간영역 채널이며, n 은 잡음이다. F_L 은 줄어든 FFT 행렬이며, F 행렬로부터 L 의 열을 선택한 것이며, h_L 도 마찬가지로 줄어든 시간영역 채널로 h 로부터 L 의 열을 선택한 것이다.

Step 2) 시간영역 채널 추정

시간영역에서 채널 추정값 \hat{h}_L 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{h}_L &= (P \cdot F_L)^* \cdot Y \\ &= (F_L^H \cdot F_L)^{-1} \cdot F_L^H \cdot P \cdot Y\end{aligned}\quad (10)$$

여기서 $*$ 기호는 Pseudo inverse를 의미한다.

Step 3) 주파수영역 채널 추정

주파수영역 채널 추정값 \hat{H}_L 은 시간 영역 채널 \hat{h}_L 로부터 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$\hat{H}_{L,n,k} = F_L \cdot \hat{h}_L = F_L \cdot (F_L^H \cdot F_L)^{-1} \cdot F_L^H \cdot P \cdot Y\quad (11)$$

IV. HRCE 채널 추정 기법

본 장에서는 HRCE 기법을 제안한다. HRCE는 Smoothing에 LMMSE(Linear Minimum Mean Square Error)가 적용된 기법이다. 채널 추정 오류를 최소화함으로써 더 좋은 성능을 보일 수 있다. 그림 3은 HRCE 기법의 블록 다이어그램이다.

여기서 $\hat{H}_{L,n,k}$ 는 LMMSE가 적용된 채널이며, W 는 LMMSE 계수이며, $\hat{H}_{L,n,k}$ 는 Smoothing으로부터 얻어진 추정된 채널 값이다. W 는 MSE(Mean Square Error)를 최소화함으로써 얻어질 수 있다.

$$\min E \left| H_{n,k} - \hat{H}_{L,n,k} \right|^2\quad (13)$$

V. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 장에서는 기존 및 제안한 채널 추정 기법에 대해 성능 분석이 이루어졌다. 이에 대한 모의실험 모델 및 파라미터와 모의실험 결과는 다음과 같다.

1. 모의실험 모델 및 파라미터

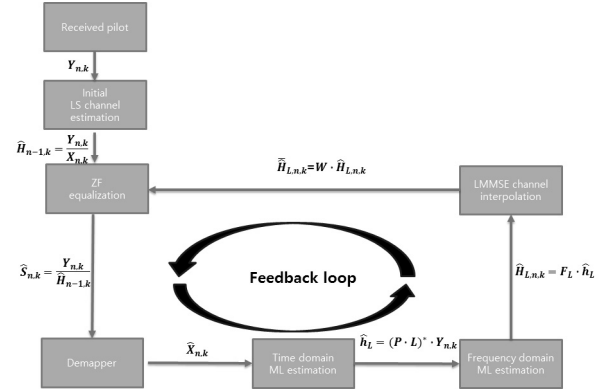


그림 3. HRCE 블록 다이어그램

Fig. 3. HRCE block diagram.

모의실험은 LTE SL 시스템을 기반으로 이루어 졌다. 속도와 도플러 주파수의 관계는 표 1과 같다.

표 1. 속도와 도플러 주파수 관계

Table1. Relationship between the velocity and Doppler frequency.

	Urban	Rural	Freeway
Vehicle velocity	15 km/h	60 km/h	140 km/h
Relative velocity	30 km/h	120 km/h	280 km/h
Doppler frequency	166 Hz	664 Hz	1555 Hz

LTE SL 시스템에 대한 파라미터는 표 2와 같다.

표 2. LTE SL 시스템에 대한 파라미터

Table2. Parameters for LTE SL system.

Parameter	Value
Carrier frequency	6 GHz
Bandwidth	10 MHz
Sample frequency	15.36 MHz
Subframe duration	1 ms
Subcarrier spacing	15 kHz
FFT size	1024
Occupied subcarriers	600
No. of subcarriers/PRB	12
Cyclic Prefix (CP)	Normal CP
No. of OFDM symbols/subframe	14 (Normal CP)
Modulation scheme	QPSK
Noise	AWGN
α, β	1, 1
L	150
Vehicle Velocity	Urban : 15 km/h Rural : 60 km/h Freeway : 140 km/h
Channel Model	Urban : UMi LoS Rural : UMa LoS Freeway : UMa NLoS
MIMO Configuration	1 × 1
Channel Estimation	LS, DDCE, CDP, STA Smoothing, HRCE
Advanced Receiver	ZF

2. 모의실험 결과 및 성능분석

채널 추정 기법인 LS, DDCE, CDP, STA, Smoothing, 그리고 제안한 기법인 HRCE 기법에 대해 성능 평가가 이루어졌다. 성능 평가는 NMSE(Normalized Mean Square Error)와 BER(Bit Error Rate)에 대해 이루어졌다.

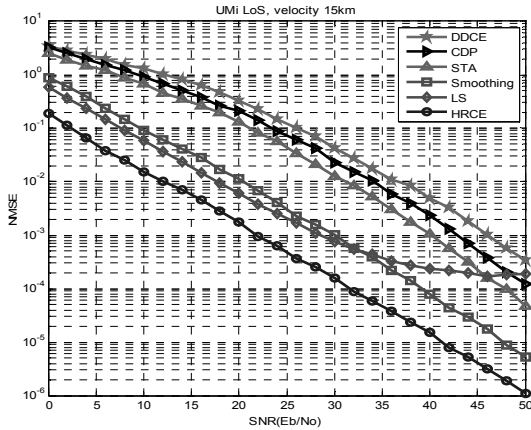


그림 4. 도심지역에서의 NMSE
 Fig. 4. NMSE of urban region.

그림 4는 도심지역에서의 NMSE를 나타낸 것이다. 성능은 DDCE, CDP, STA, LS, Smoothing, 그리고 제안한 기법인 HRCE 순으로 좋아진다. DDCE는 낮은 SNR 일 경우 잘못된 등화와 디매핑으로 인해 오류가 많이 발생하는 단점이 있으며 높은 SNR에서는 좋은 성능을 보인다. CDP와 STA는 DDCE를 기본으로 하고 있으며 STA가 CDP보다 더 나은 성능을 보인다. LS의 경우 낮은 SNR에서는 성능이 좋지만, 높은 SNR에서 에러 플로어가 발생한다. HRCE가 낮은 SNR과 높은 SNR에서 모두 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

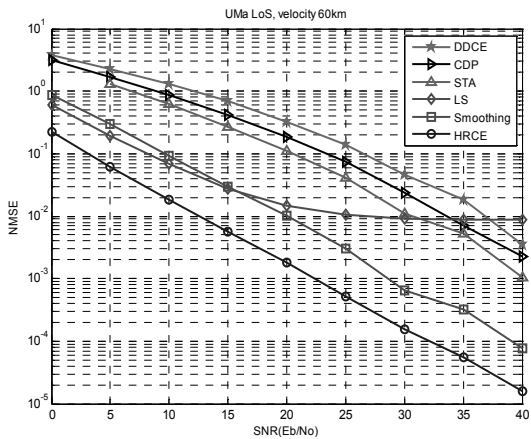


그림 5. 시골지역에서의 NMSE
 Fig. 5. NMSE of rural region.

그림 5는 시골지역에서의 NMSE를 나타낸 것이다. 그림 4와 마찬가지로 성능은 DDCE, CDP, STA, LS, Smoothing, 그리고 제안한 기법인 HRCE 순으로 좋아진다.

그림 6은 고속도로에서의 NMSE를 나타낸 것이다. LS 기법의 경우 모든 SNR에서 에러 플로어가 발생하는 것을 볼 수 있고, 마찬가지로 HRCE 기법이 가장 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

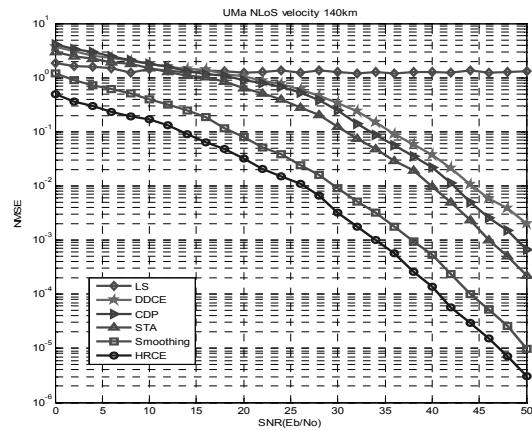


그림 6. 고속도로에서의 NMSE
 Fig. 6. NMSE of freeway region.

그림 7은 도심지역에서의 Uncoded BER을 나타낸 것이다. 성능은 DDCE, CDP, STA, LS, Smoothing, 그리고 제안한 기법인 HRCE 순으로 좋아진다.

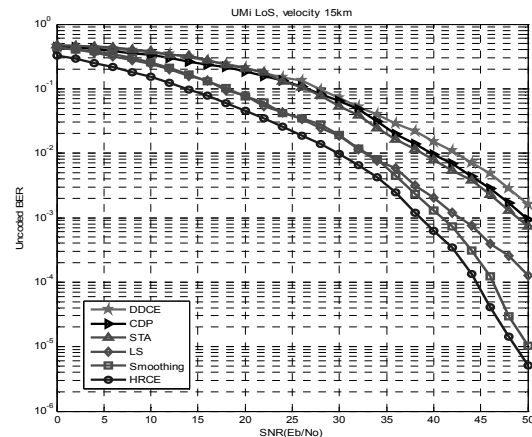


그림 7. 도심지역에서의 Uncoded BER
 Fig. 7. Uncoded BER of urban region.

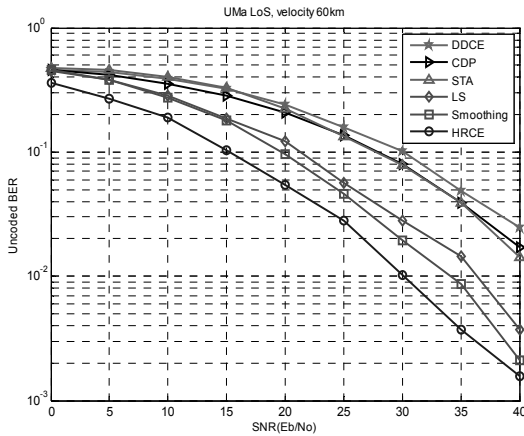


그림 8. 시골지역에서의 Uncoded BER

Fig. 8. Uncoded BER of rural region.

그림 8은 시골지역에서의 Uncoded BER을 나타낸 것이다. 그림 7과 마찬가지로, 성능은 DDCE, CDP, STA, LS, Smoothing, 그리고 제안한 기법인 HRCE 순으로 좋아진다.

그림 9는 고속도로에서의 Uncoded BER을 나타낸 것이다. LS 기법의 경우 모든 SNR에서 에로 플로어가 발생하는 것을 볼 수 있고, 마찬가지로 HRCE 기법이 가장 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

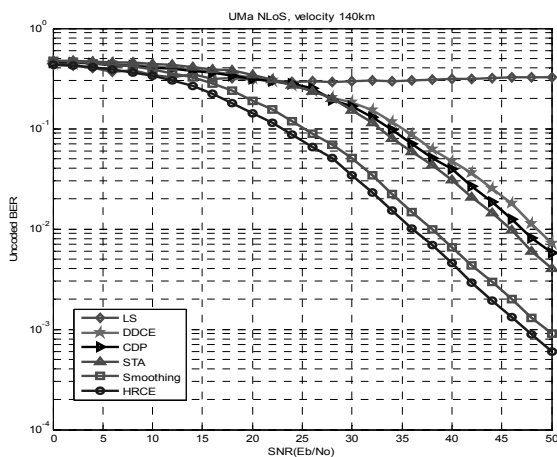


그림 9. 고속도로에서의 Uncoded BER

Fig. 9. Uncoded BER of freeway region.

VI. 결 론

본 논문에서는 LTE 기반 V2V 환경에서 새로운 채널 추정 기법을 제안하였다. 제안 기법은 낮은 SNR에서 좋은 성능을 보이는 Smoothing 기법에 LMMSE가 적용이 되었다. 모의실험 결과, 제안한 기법이 도심지역과 시골지역, 그리고 고속도로에서 NMSE와 BER 관점에서 성능이 향상된 것을 볼 수 있다. 향후 연구 과제로는 5세대 이동통신이 uLLC(ultra-reliable and Low Latency Communication)를 목표로 하고 있기 때문에, HRCE 기법의 복잡도를 낮추는 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] YiShi, "LTE-V: A Cellular-Assisted V2X Communication Technology" in ITU Workshop, Beijing, China, July. 28-29th 2015.
- [2] Jaemin Kwak, Pusik Park, Daekyo Shin, Kitaeg Lim, and Jongchan Choi, "Implementation of Embedded System for IEEE 802.11p based OFDM-DSRC Communications" in ISOC Conference, Page: 431-434, Oct. 2006.
- [3] Sangmi Moon, Myeonghun Chu, Hanjong Kim, Dajin Kim, Intae Hwang, "FFT-based Channel Estimation Scheme in LTE-A Downlink System" in IEIE, Vol. 53, NO.3, Page: 11-20, March. 2016.
- [4] Jianjun Ran, Rainer Griinheid, Hermann Rohling, Edgar Bolin, Ralf Kern, "Decision-directed Channel Estimation Method for OFDM systems with high velocities" in Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual, Vol.04, Page: 2358-2361, 2003.
- [5] Zijun Zhao, Xiang Cheng, Miaowen Wen, Bingli Jiao, Cheng-Xiang Wang, "Channel Estimation Schemes for IEEE 802.11p Standard" in IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol 5, Page: 38-49, 2013.
- [6] Joseph A. Fernandez, "Dynamic Channel Equalization for IEEE 802.11p Waveforms in the Vehicle-to-Vehicle Channel" in Communication, Control, and Computing (Allerton), 2010 48th Annual Allerton Conference on, Page: 542-551, Oct. 2010.
- [7] Andre Bourdoux, Hans Cappelle, Antoine Dejonghe, "Channel Tracking for Fast Time-Varying Channels in IEEE 802.11p Systems" in Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE, Page: 1-6, Dec. 2011.

— 저 자 소 개 —



추 명 훈(학생회원)
2015년 8월 전남대학교 전자컴퓨터
공학부 학사
2015년 9월~현재 전남대학교 전자
컴퓨터공학과 석사과정
<주관심분야: V2X 통신, 디지털통신,
무선통신시스템, 차세대이동통신>



문 상 미(학생회원)
2012년 2월 전남대학교 전자컴퓨
터공학부 학사
2014년 8월 전남대학교 전자컴퓨
터공학과 석사
2014년 9월~현재 전남대학교 전
자컴퓨터공학과 박사과정
<주관심분야: 이동통신, ICIM, MIMO-OFDM,
D2D, SCE, V2X>



권 순 호(정회원)
2002년 2월 전남대학교 컴퓨터공
학과 학사
2004년 8월 전남대학교 전자컴퓨
터공학과 석사
2004년 7월~현재 한국항공우주
연구원 선임연구원
2016년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박
사과정
<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, D2D,
차세대이동통신>



이 지 혜(학생회원)
2016년 2월 전남대학교 전자컴퓨
터공학과 학사
2016년 3월~현재 전남대학교 전
자컴퓨터공학과 석사과정
<주관심분야: 디지털통신, 무선통신
시스템, 차세대이동통신, 3D-MIMO>



배 사 라(학생회원)
2016년 6월 전남대학교 전자컴퓨터
공학과 학사
<주관심분야: 양자통신, 디지털통신,
무선통신시스템, 차세대이동통신>



김 한 중(평생회원)
1986년 2월 한양대학교 전자공학과
학사
1988년 8월 연세대학교 전자공학과
석사
1988년 9월~1994년 2월 연세대
학교 전자공학과 박사
1994년 9월~현재 한국기술교육대학교 전기전자통
신공학부 교수
<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 방송
시스템, 신호처리 및 마이크로 프로세서 응용>



김 철 성(평생회원)
1987년 Univ. of Arizona(박사)
1987년~1989년 한국전자통신 연
구원
1989년~현재 전남대학교 전자컴퓨
터공학부 교수
<주관심분야: 이동통신, 디지털통신, MIMO, OFDM,
RFID>



김 대 진(평생회원)
1984년 서울대학교 전자공학과 학사
1986년 한국과학기술원 전기 및 전
자공학과 석사
1991년 한국과학기술원 전기 및 전
자공학과 박사
1991년 7월 1996년 12월 LG전자 멀티미디어연구소
책임연구원
1997년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
<주관심분야: 디지털 통신, 디지털 방송>



황 인 태(평생회원)
1990년 2월 전남대학교 전자공학과
학사
1992년 8월 연세대학교 전자공학과
석사
1999년 9월~2004년 2월 연세대학교
전기전자공학과 박사
1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원
2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부
교수
<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 차세대
이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM, Relay,
ICIM, CoMP, D2D, SCE, MTC>