



IEEE 802.11p PER 성능향상을 위한 다중 수신안테나 기반의 MRC 패킹 채널 추정 기법

백승환*¹, 한승호*², 임성목**³, 강도욱***¹, 오현서***², 송창익****⁴

Novel MRC Pakcing Channel Estimation Scheme for PER Enhancement of IEEE 802.11p

Seunghwan Baek*¹, Seungho Han*², Sungmook Lim**³, Do-Wook Kang***¹, Hyun Seo Oh***², and Changick Song****⁴

본 연구는 한국연구재단 신진연구지원사업 연구비 지원(2015R1C1A1A02036927) 및 한국전자통신연구원 연구 운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [17ZS1520, 자율주행자동차의 실시간 제어를 위한 고속 V-Link 통신기술 개발].

요 약

최근 자율 주행 차량의 발전과 더불어 차량 간 협력주행을 위한 V2X(Vehicle-to-everything) 통신기술의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 WAVE(Wireless Access for Vehicular Environments) 기반의 차량 간 고속이동 통신 환경에서 802.11p 물리계층 패킷 에러율 성능향상을 위한 다중 수신안테나 기반 새로운 다이버시티 채널 추정 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 우선 각 수신 안테나에서 초기 추정된 채널을 이용하여 MRC(Maximum Ratio Combining) 결합으로 데이터를 복원한 후 복원된 데이터를 파일럿으로 활용하여 다시 각 안테나의 채널을 MRC 패킹(packing)과정을 통해 추정함으로써 최대 수신 다이버시티 이득을 얻는다. 제안하는 기법의 성능 검증을 위해 본 논문에서는 Cohda Wireless 사에서 제시한 실측 채널 환경에서 모의실험을 실시한 결과를 소개하며, 이를 통해 기존 WAVE채널 추정 기법 대비 제안하는 기법의 패킷 에러율 성능의 우수성을 입증한다.

Abstract

Recently, due to the evolution of autonomous driving car, there has been growing interest in the V2X (Vehicule-to-Everything) communication systems. In this paper, we propose a novel channel estimation scheme based on multiple receive antennas so as to minimize the packet error rate (PER) performance of the Wireless Access Vehicular Environments (WAVE) system in a high speed mobile environment. The proposed scheme first obtains the data pilots utilizing initially estimated channels and maximum ratio combining (MRC), and then iteratively estimate the channels in each antenna through the MRC packing process. Finally, we demonstrate the efficiency of the proposed scheme based on the link-level simulation results.

Keywords

IEEE 802.11p, WAVE, channel estimation, MRC packing, diversity

* 한국교통대학교 정보통신공학과

- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0002-5554-7180>

- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0002-2635-6606>

** 한국교통대학교 전자공학과

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6850-4403>

*** 한국전자통신연구원(ETRI)

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-2737-8188>

- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0002-7868-7717>

**** 한국교통대학교 정보통신로봇공학전공(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5325-3699>

· Received: Nov. 27, 2017, Revised: Dec. 29, 2017, Accepted: Jan. 01, 2018

· Corresponding Author: Changick Song

Dept. of Communications and Robot Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea,

Tel.: +82-43-841-5363, Email: c.song@ut.ac.kr

1. 서 론

최근 자동차 산업의 발전과 더불어 운전자의 편리성과 안전성을 모두 고려한 자율 주행 자동차의 실시간 제어가 커다란 주목을 받고 있다[1][2]. 이를 위해서 차량 간 혹은 차량과 인프라 간 안정적인 통신이 필수적이며, IEEE 802.11p 기반 WAVE (Wireless Access for Vehicle Environment) 통신 기술에 대한 표준을 정립하는 단계에 있다[3].

WAVE 통신을 기반으로 운전자가 원하는 정보를 고속으로 송수신하기 위해서는 고정밀 채널 추정이 수행되어야 한다. 기존의 IEEE 802.11p의 물리계층에서 제안하는 채널 추정 기법은 프레임마다 생성되는 프리앰블(Preamble) 중 긴 훈련신호(Long Training Symbols)를 이용하여 채널 추정을 수행한 후 프레임을 구성하는 모든 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼에 적용하는 방식이다[4]. 그러나 이는 한 프레임 내 OFDM 심볼의 개수가 많아질수록, 변조 오더가 커질수록 그리고 차량의 이동 속도가 빨라질수록 채널 추정 성능이 열화되는 문제점을 가지고 있다.

WAVE 통신 시스템에서 채널 추정 시 발생하는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 각 OFDM 심볼의 검출 데이터를 데이터 파일럿으로 구성하여 채널 추정값을 업데이트하는 기법들이 활발히 연구되고 있다. J. A. Fernandez 등은 각 OFDM 심볼의 부반송파에서 LS(Least Square) 기법으로 채널 추정 후 이를 시간축과 주파수축에서 평균화 과정을 통해 채널 추정 값을 업데이트하는 STA(Spectral Temporal Averaging) 기법을 제안하였다[5]. STA 기법은 평균화 과정을 통해 채널의 시변 현상에 따른 성능 열화를 완화시키고, 안정적인 PER(Packet Error Rate) 성능을 보장해주는 장점을 보인다. 그러나, 차량의 이동속도가 빨라질수록 높은 SNR(Signal to Noise Ratio) 영역에서 에러 마루(Error Floor)가 발생하는 문제점을 가지고 있다.

반면 [6]에서는 각 OFDM 심볼의 부반송파에서 LS 기법으로 채널 추정한 후 이에 대한 신뢰도 테스트를 통해 추정된 채널 값의 신뢰도가 높은 경우 데이터 검출에 이용하고, 신뢰도가 낮은 경우 이전 OFDM 심볼의 데이터 검출 시 사용한 채널 추정값

을 그대로 사용하는 CDP(Constructed Data Pilots) 기법을 제안하였다[6]. 채널 추정 값의 정확도가 떨어지더라도 평균화 과정을 통해 업데이트하는 STA 기법과 달리 CDP 기법은 채널 추정 값의 정확도가 떨어지는 경우 이전 채널 추정 값을 사용하기 때문에 신뢰도가 높은 채널 추정 값들만 이용할 수 있고, PER 성능을 향상시킬 수 있는 요인이 된다. 따라서 높은 SNR 영역에서도 에러 마루 현상 없이 높은 PER 성능을 보장할 수 있다. 그러나 지속적으로 채널 신뢰도 값이 낮은 환경에서는 채널 추정 값에 대한 업데이트를 진행할 수 없기 때문에 성능 향상의 한계를 가진다.

CDP의 성능 향상 한계를 극복하기 위해서 [7]에서는 추정된 채널 값의 신뢰도 테스트 후 낮은 신뢰도의 채널 추정 값은 동일 심볼 내 신뢰도가 높은 채널 추정 값들을 이용하여 보간법(Interpolation)을 통해 업데이트를 진행하는 TRFI 기법이 제안되었다[7]. TRFI 기법은 신뢰도가 낮은 채널 값도 업데이트가 진행되기 때문에 CDP 기법의 채널 추정 성능의 한계를 극복하고, 더 좋은 PER 성능을 보장할 수 있다. 그러나 낮은 SNR 영역에서는 채널 추정 성능이 열화되는 문제점을 가지고 있다.

[8]에서는 앞서 설명한 기존 채널 추정 기법들을 이용하여 반복적으로 채널 추정을 수행할 수 있는 ICED(Iterative Channel Estimation and Detection) 기법을 제안하였다[8]. 즉, STA, CDP, TRFI 기법 중 하나를 선택하여 초기 채널 추정을 수행한 후 1D-MMSE(Minimum Mean Square Estimation) 기법 기반으로 디코더의 최종 복호화 신호를 채널 추정의 파일럿으로 재사용함으로써 채널 추정 성능을 비약적으로 향상시키는 기법이다. 그러나 ICED 기법은 하나의 데이터 패킷에 대하여 여러 번의 디코딩을 수행해야 하는 등 높은 복잡도를 요구하기 때문에 실제 상용화하기 어렵다는 문제점을 가진다.

WAVE시스템의 PER 향상을 위하여 최근 SIMO (Single Input Multi-Output) 환경에서 다중 수신안테나를 이용한 채널 추정 기법들이 제안되었다[9][10]. 하지만 기존 기법들은 각 안테나 별로 독립적인 채널을 추정하여 모든 패킷의 채널이 추정된 후 MRC를 수행하기 때문에 채널추정 오류 발생 시 충분한 다이버시티 이득을 얻기 어려운 문제점이 있다. 이

를 극복하기 위하여 본 논문에서는 각 OFDM 심볼 단위에서 MRC 패킹(Packing) 과정을 통해 채널을 추정하고 추정된 채널은 다음 OFDM 심볼에서 사용될 수 있게 함으로써 다이버시티 이득을 극대화하는 고정밀 채널 추정 알고리즘을 제안한다.

제안하는 MRC 패킹 채널추정기법은 먼저 초기 채널 추정을 위해 각 수신 안테나에서 기존 TRFI 기법 기반으로 채널 추정을 수행한다. 이 후 신뢰도가 낮은 채널 추정 값이 발생할 경우, 해당 부반송파의 채널은 비워둔 후 다른 안테나에서 획득한 신뢰도 높은 채널 추정 값을 이용하여 MRC 패킹과정을 통해 채널을 추정한다. 제안하는 기법은 각 OFDM 심볼단위에서 다이버시티 이득을 최대한 활용하여 채널을 추정하며 정확도가 향상된 추정 채널 정보를 다음 OFDM 심볼에서 사용될 수 있도록 넘겨줌으로써 고속이동시 발생하는 시 변 채널에 의한 PER 성능 열화를 극복한다. 마지막으로 우리는 Cohda Wireless사에서 제시한 실측 채널 모델[11]을 바탕으로 링크레벨 시뮬레이터를 구축하고 그 결과를 통하여 제안하는 기법의 우수성을 입증한다.

II. 시스템 모델

2.1 IEEE 802.11p 물리 계층

제안하는 기법은 기존 IEEE 802.11p WAVE 물리 계층 패킷구조를 그대로 따른다. 각 패킷은 시간 동기화를 위한 짧은 훈련 심볼(Short Training Symbols), 채널 추정에 사용되는 긴 훈련 심볼(Long Training Symbols)로 구성되는 프리앰블로 시작되고, 이후 송신 신호의 변조 방식, 코드율 등의 정보를 가지고 있는 시그널과 실제 데이터 정보를 가지고 있는 데이터로 구성된다. 모든 심볼은 OFDM을 기반으로 생성되고, 데이터를 구성하는 OFDM 심볼의 개수는 가변적이나 본 논문에서는 100개의 OFDM 심볼을 고려한다.

IEEE 802.11p 물리계층 패킷 생성을 위해 송수신단에서 사용하는 파라미터가 표 1에 제시되어 있다. 먼저 송신단에서는 표 1에서 제시된 변조 기법과 코드율을 기반으로 길쌈부호화(Convolutional Encoding)후 인터리빙(Interleaving)을 통해 무선 채널

에 의한 연접 오류(Burst Error)를 회피하는 과정을 수행한다.

표 1. IEEE 802.11p 파라미터

Table 1. Parameters in IEEE 802.11p

Parameters	Value
Bandwidth	10 MHz
Modulation order	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Code rate	1/2, 2/3, 3/4
# Data subcarriers	48
# Pilot subcarriers	4
Pilot subcarrier index (δ)	-21, -7, 7, 21
Total # subcarriers	64
FFT size	$6.4\mu s$
Guard interval	$1.6\mu s$
Symbol duration	$8.0\mu s$

이후 64-point IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 과정을 통해 OFDM 변조를 수행하는 데 64개의 부반송파는 데이터 전송에 48개, 파일럿 전송에 4개, DC(Direct Current) 값 전송에 1개 그리고 나머지 11개의 가상 부반송파로 구성한다. 이후 보호 구간과 프리앰블을 차례로 삽입하여 1개의 전송 패킷을 완성하게 된다.

수신단은 채널과 잡음이 반영된 수신 신호에서 프리앰블과 시그널 분리 후 긴 훈련 신호를 이용하여 초기 채널 값을 추정한다. 그리고 보호구간 제거, FFT 수행 후 제안하는 채널 추정 기법에 따라 채널 추정 업데이트를 통해 데이터를 복원한다.

2.2 WAVE 채널 모델

본 논문에서는 WAVE 통신 시스템의 채널 모델로서 Cohda Wireless 사가 제안한 Cohda Wireless 채널 모델을 고려한다[11]. Cohda Wireless 채널 모델은 차량의 주행 환경 및 이동 속도 등에 따라서 5가지 시나리오(Rural LOS with 144km/h, Urban Approaching with 119km/h, Crossing NLOS with 126km/h, Highway LOS with 252km/h, Highway NLOS with 252km/h)를 제시하였는데, 본 논문에서는 이 중에서 기존 채널 추정 기법을 사용했을 경우 채널의 시간 축 및 주파수 축 변화로 인해 PER 성능을 가장 열화시키는 두 가지 채널 모델(Cross

NLOS with 126km/h, Highway NLOS with 252km/h) 을 고려한다. 본 논문에서 고려하는 두 가지 채널 모델의 채널 프로파일은 표 2에 제시되어 있다.

III. 제안하는 MRC 패킹 채널추정기법

본 장에서는 IEEE 802.11p WAVE 물리계층의 패킷 에러율 감소를 위한 다중 수신안테나 다이버시티 기반 새로운 MRC 패킹 기반의 채널추정 방식을 제안한다. 다중 수신안테나를 사용한다는 점을 제외하고, 제안하는 기법은 그림 1 및 표 1과 같이 기존 WAVE 패킷구조와 부/복호화 모델을 그대로 사용하기 때문에 기존 표준시스템과 호환성을 유지할

수 있다.

표 2. 시나리오에 따른 채널 프로파일
Table 2. Channel profile due to scenario
A. Crossing NLOS (126km/h)

	Tap1	Tap2	Tap3	Tap4	Units
Power	0	-3	-5	-10	dB
Delay	0	267	400	533	ns
Doppler	0	295	-98	591	Hz

B. Highway NLOS (252km/h)

	Tap1	Tap2	Tap3	Tap4	Units
Power	0	-2	-5	-7	dB
Delay	0	200	433	700	ns
Doppler	0	689	-492	886	Hz

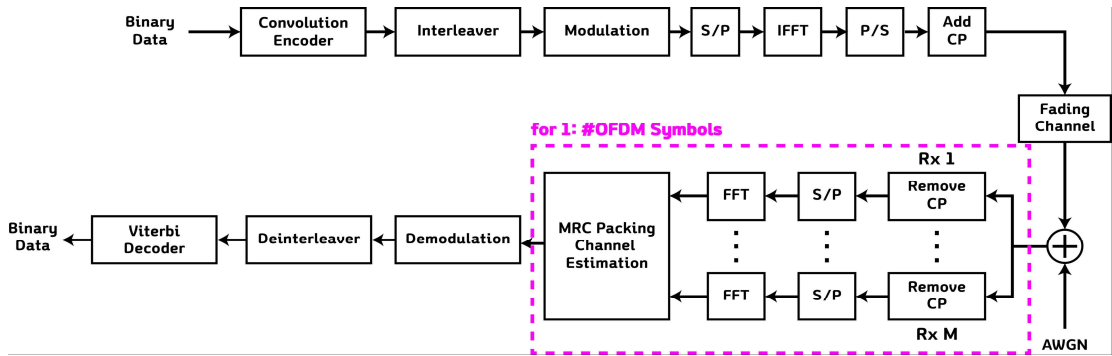
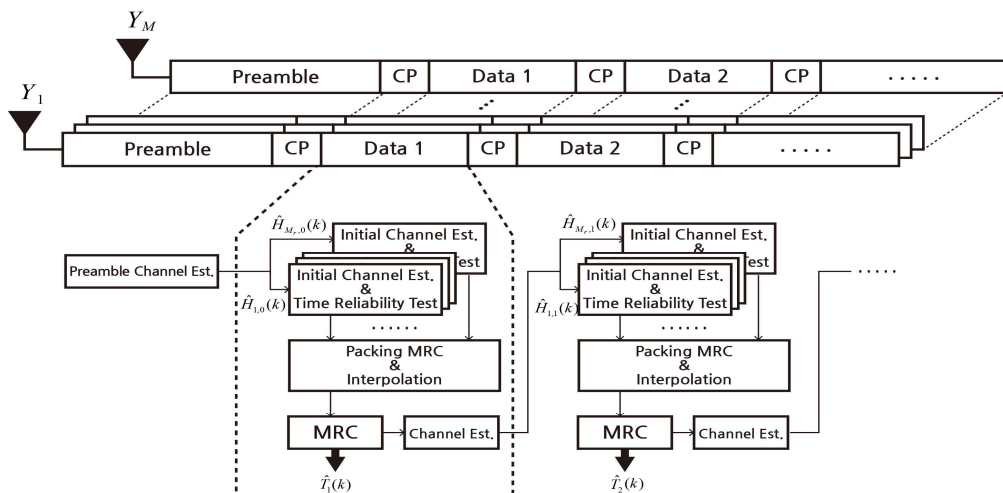


그림 1. IEEE 802.11p 기반 MRC 패킹 채널추정 송/수신 모델
Fig. 1. Transceiver structure for IEEE 802.11p based MRC packing channel estimation scheme



where $\hat{H}_{m,i}(k)$ is the k -th subcarrier channel response of the i -th OFDM symbol of the m -th antenna.

그림 2. 다중 수신안테나 MRC 패킹 채널 추정 블록 다이어그램
Fig. 2. Multiple receive antenna MRC packing channel estimation block diagram

제안하는 기법의 기본적인 데이터 송·수신 모델은 그림 1과 같으며, 제안하는 MRC 패킹 채널추정 단계의 내부는 그림 2와 같이 구성된다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 제안하는 기법은 WAVE 패킷의 데이터영역 내의 모든 OFDM 심볼에 대하여 심볼 단위로 수행되며 각 OFDM 심볼에서는 크게 3가지 단계로 채널 추정을 수행한다. MRC 패킹 과정이 끝나고 최종적으로 얻은 신뢰성이 향상된 채널 값들은 다음 OFDM 심볼로 전달되어 시 변 채널을 극복하는데 도움이 되도록 한다.

3.1 초기채널추정 및 시간영역 신뢰도 테스트

먼저 우리는 임의의 i 번째 수신 OFDM 심볼에서 각 안테나 별로 기존 TRFI[7]기법과 유사한 방법을 이용하여 초기 채널 추정을 수행한다. 구체적으로 보면, 각 m 번째 수신 안테나는 이전 $i-1$ 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파의 채널 값 $H_{m,i-1}(k)$ 를 전달 받는다. 이를 이용하여 아래와 같이 m 번째 안테나의 i 번째 수신 심볼 $Y_{m,i}(k)$ 를 등화한다.

$$\hat{T}_{m,i}(k) = \frac{Y_{m,i}(k)}{H_{m,i-1}(k)} \quad (1)$$

이후, 등화된 심볼 $\hat{T}_{m,i}(k)$ 는 디매핑을 통해 송신 심볼의 추정 값 $\hat{X}_{m,i}(k)$ 를 복원하고 이를 다시 가상의 데이터 파일럿으로 활용하여 i 번째 심볼에 대한 채널 추정 값 $\hat{H}_{m,i}(k)$ 를 구한다.

$$\hat{H}_{m,i}(k) = \frac{Y_{m,i}(k)}{\hat{X}_{m,i}(k)} \quad (2)$$

이제 각 안테나 별로 독립적으로 추정된 $\hat{H}_{m,i}(k)$ 는 시간영역 신뢰성 테스트수행에 이용된다. 이를 위하여, 우리는 먼저 $i-1$ 번째 수신 데이터 심볼 $Y_{m,i-1}(k)$ 를 $\hat{H}_{m,i}(k)$ 와 $H_{m,i-1}(k)$ 로 등화하여 아래와 같이 등화된 심볼

$$\begin{aligned} \hat{T}'_{m,i-1}(k) &= \frac{Y_{m,i-1}(k)}{\hat{H}_{m,i}(k)} \text{ 와} \\ \hat{T}''_{m,i-1}(k) &= \frac{Y_{m,i-1}(k)}{H_{m,i-1}(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

를 얻는다. 이 후 $\hat{T}'_{m,i-1}(k)$ 과 $\hat{T}''_{m,i-1}(k)$ 는 각각 $\hat{X}'_{i-1}(k)$ 와 $\hat{X}''_{i-1}(k)$ 로 디매핑 된다.

임의의 i 번째 심볼에서 데이터 부반송파 인덱스 집합을 Φ_i 라 할 때, 집합 Φ_i 에 포함되는 모든 원소 k 에 대해서 $\hat{X}'_{i-1}[k] = \hat{X}''_{i-1}[k]$ 가 참인지 거짓인지 판별하여 참인 경우는 디매핑 오류가 발생하지 않았으므로 현재의 채널 추정 값 $\hat{H}_{m,i}(k)$ 은 신뢰성이 있다고 판단하여 업데이트 한다. 만일 위의 등식이 거짓으로 판명된다면, 디매핑 오류로 인해 현재 채널 값 $\hat{H}_{m,i}(k)$ 는 신뢰성이 없다고 판단하여 해당 부 반송파의 채널 추정 값을 버리게 된다.

따라서 초기채널추정과 시간영역 테스트 단계를 통해 우리는 각 m 번째 수신 안테나, i 번째 OFDM 심볼, k 번째 부반송파의 채널 값을 아래와 같이 설정할 수 있다.

$$\hat{H}_{m,i}^{pre}(k) = \begin{cases} \hat{H}_{m,i-1} & \text{if } \hat{X}'_{m,i-1}(k) = \hat{X}''_{m,i-1}(k) \\ 0 & \text{if } \hat{X}'_{m,i-1}(k) \neq \hat{X}''_{m,i-1}(k) \end{cases}$$

본 신뢰성 테스트 단계에서, 각 안테나의 임의의 i 번째 심볼에서 채널 값 $\hat{H}_{m,i}^{pre}(k)$ 는 그림 3의 ①단계와 같이 각 안테나별로 신뢰성이 있는 부 반송파의 채널 값만 채워지게 된다.

3.2 MRC 패킹과 보간법

본 단계에서는 먼저 각 부 반송파 별로 신뢰성 있는 부 반송파의 채널 값만을 이용하여 MRC를 수행하여 송신 데이터 심볼을 추정한다. 이 후 그림 3의 ②와 같이 MRC를 통해 추정된 심볼은 가상의 데이터 파일럿으로 활용되어 각 안테나의 부 반송파 중에 신뢰성이 없었던 부반송파의 채널을 추정하여 비워져 있었던 부반송파의 채널 값을 채우는 과정을 수행한다. 우리는 이 과정을 MRC 패킹으로 부른다.

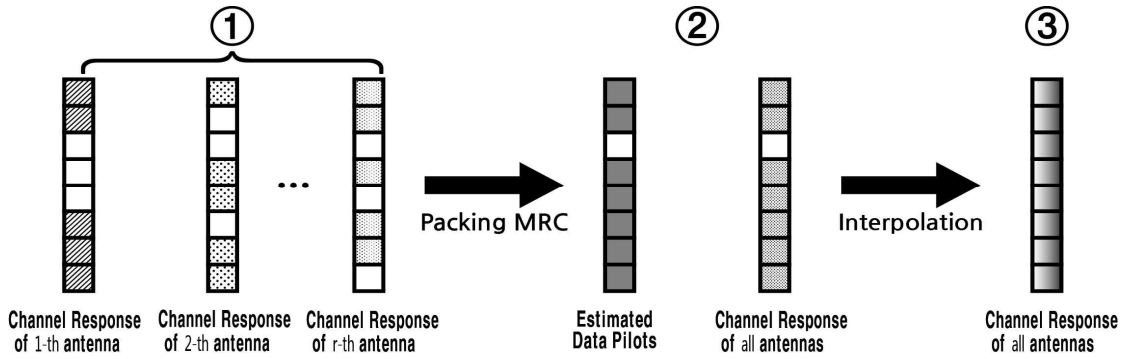


그림 3 MRC 패킹과 보간법
Fig. 3. MRC packing & interpolation

하지만, 만일 모든 안테나에서 신뢰성 있는 채널 값을 얻지 못 하였다면, 해당 부 반송파에서는 MRC 패킹 과정을 수행할 수 없다. 따라서 이러한 경우에는 그림 3의 ③단계와 같이 모든 부 반송파에서 MRC 패킹 과정이 끝난 후 각 안테나 별로 주파수 영역 보간법을 수행하여 비어 있는 부반송파의 채널을 추정한다. 이렇게 추정된 채널은 $\hat{H}_{m,i}^{post}(k)$ 로 정의된다.

3.3 최종 MRC 디매핑 및 채널 추정

위 두 단계가 끝나면 그림 3의 단계③과 같이 모든 안테나의 모든 부 반송파에서 의미 있는 채널 값들이 채워지게 된다. 이후 각 부 반송파 별로 아래와 같이 잘 알려진 기존의 MRC 디매핑을 통해 i 번째 OFDM심볼, k 번째 부반송파의 송신 변조 신호를 복원하여 최대 다이버시티를 얻는다.

$$\hat{X}_i(k) = Q \left(\frac{\sum_m Y_{m,i}(k) \hat{H}_{m,i}^{post*}(k)}{\sum_m |\hat{H}_{m,i}^{post}(k)|^2} \right) \quad (5)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 디매핑을 위한 양자화 과정을 의미한다.

이 후 최종적으로 복원된 심볼 $X_i(k)$ 을 가상의 파일럿으로 활용하여 각 안테나 별로 i 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파의 채널을 $H_{m,i}(k) = \frac{Y_{m,i}(k)}{X_i(k)}$

와 같이 추정하고 이 값은 다음 OFDM 심볼로 전달되어 채널 추정을 위해 사용된다.

제안하는 다중 수신안테나 기반 MRC 패킹 채널 추정 기법은 다중 수신안테나 다이버시티를 이용하여 채널추정의 정확도를 극대화함으로써 고속이동 차량 간 통신 상황에서 발생하는 도플러 효과로 인해 부정확하게 추정되는 채널 추정 오류를 최소화한다.

기존의 각 안테나 별 독립적 채널 추정 후 패킷 단위 MRC를 수행하는 다중 수신안테나 채널 추정 기법들[9][10]과 달리 제안하는 기법은 각 OFDM 심볼 내에서 신뢰성 테스트 및 MRC 패킹과정을 통하여 보다 향상된 신뢰성을 가지는 채널을 추정한 이후 그 결과를 다음 OFDM 심볼로 넘겨주기 때문에 빠른 채널 변화에 대한 적응력이 뛰어나며 따라서 더욱 뛰어난 PER 성능을 얻는다. 특히 WAVE 시스템은 차량의 이동속도가 증가할수록 부 반송파 간의 간섭으로 인해 높은 SNR에서 필연적으로 에러마루 현상이 나타나게 되는데 제안하는 기법의 경우 높은 SNR에서도 지속적으로 감소하는 PER 성능 그래프를 보여준다.

IV. 모의 실험

본 장에서는 앞서 제시한 Cohda Wireless 채널모델의 시나리오 A 와 B의 채널 환경에서 기존 기법과 제안 기법의 패킷 에러율 성능을 비교, 분석한다. 기본적인 실험 파라미터는 표 1에 제시된 파라

미터를 그대로 사용하였고, 변조방식은 BPSK, QPSK, 코드율은 1/2을 고려하였다. 한 패킷을 구성하는 데이터 심볼은 OFDM 심볼 100개로 가정하였다. 제안하는 기법과 성능비교를 위하여 SISO 환경에서 STA 및 TRFI 기법들과, SIMO 환경에서 [10]에서 제안된 패킷단위의 MRC 기법이 적용된 STA와 TRFI 기법들을 사용하였다.

그림 4는 시나리오 A 환경에서 BPSK 변조 기법을 사용하였을 때 기존 기법들과 제안하는 기법의 PER 성능을 비교한 그림이다. 시나리오 A의 채널은 이동속도가 상대적으로 작기 때문에 채널의 시간에 따른 변화는 그렇게 크지 않으나 여전히 다중 경로를 갖는 NLOS 채널 환경이기 때문에 주파수축에서의 변화는 클 수 있다. 따라서 평균화 과정을 수행하는 STA 기법의 경우 낮은 SNR에서는 우수한 성능을 보이지만 SNR이 커질수록 조기에 에러 마루현상에 의해 성능 포화가 발생한다. 반면 주파수축에서 보간법을 수행하는 TRFI 기법의 경우 높은 SNR에서 STA기법 대비 성능이득이 있지만 여전히 신뢰성 있는 패킷 에러율을 보장하기 어렵다. 기존 다중 수신안테나 MRC 기법을 사용할 경우 SISO대비 성능이득이 있지만 원래의 STA나 TRFI 성능에서 크게 벗어나지 않는 반면, 제안하는 기법은 동일한 안테나 개수 조건에서 기존 기법들 대비 10^{-3} (0.1%) PER에서 5dB 이상의 SNR 성능 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다

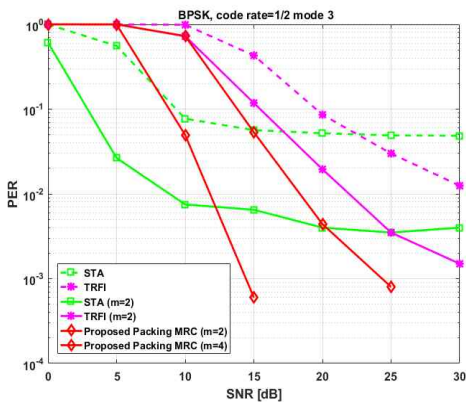


그림 4 시나리오 A (Street Crossing NLOS (126km/h)) 환경에서 PER (BPSK, code rate=1/2)
Fig. 4. PER performance in scenario A (Street Crossing NLOS (126km/h)) (BPSK, code rate=1/2)

그림 5는 시나리오 A 환경에서 QPSK 변조 기법을 사용하였을 때의 기존 기법 및 제안 기법의 PER 성능을 나타내며, 이 그림을 통해 제안하는 기법은 변조 레벨과 전송률에 관계없이 동일한 안테나 개수 조건에서 기존 기법들 대비 0.1% PER에서 10dB이상의 SNR 성능 이득을 확인할 수 있다.

그림 6은 차량의 이동속도가 증가한 시나리오 B 환경에서 BPSK 변조 기법을 사용하였을 때의 기존 기법과 제안하는 기법의 PER 성능을 비교한다. 시나리오 B의 채널은 빠른 이동속도로 인해 도플러 주파수 천이 값이 클 뿐만 아니라 NLOS 환경이기 때문에 시간과 주파수 축 모두에서 채널 변화가 극심하다.

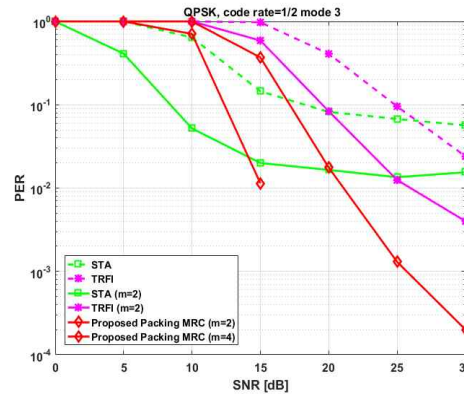


그림 5 시나리오 A (Street Crossing NLOS (126km/h)) 환경에서 PER (QPSK, code rate=1/2)
Fig. 5. PER performance in scenario A (Street Crossing NLOS (126km/h)) (QPSK, code rate=1/2)

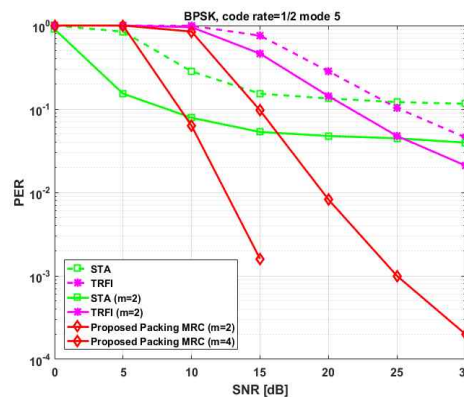


그림 6 시나리오 B (Highway NLOS (252km/h)) 환경에서 PER (BPSK, code rate=1/2)
Fig. 6. PER performance in scenario B (Highway NLOS (252km/h)) (BPSK, code rate=1/2)

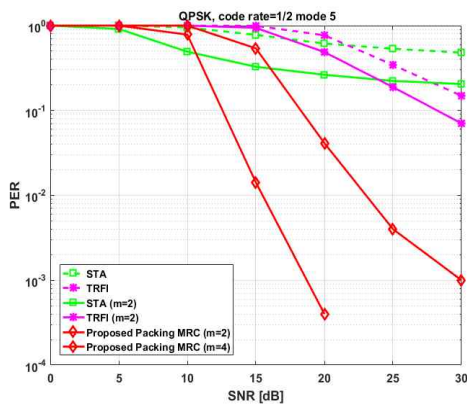


그림 7. 시나리오 B (Highway NLOS (252km/h)) 환경에서 PER (QPSK, code rate=1/2)

Fig. 7. PER performance in scenario B (Highway NLOS (252km/h)) (QPSK, code rate=1/2)

따라서 기존 기법들의 경우 채널 추정 오류로 인하여 극심한 PER 성능 열화를 겪는 반면, 제안하는 기법은 2개의 수신안테나만으로도 30dB SNR에서 0.1%의 PER 성능을 보장하는 것을 확인할 수 있으며, 수신안테나 4개를 사용하였을 경우에는 최대 0.01%의 PER을 보장 할 수 있다. 제안하는 기법은 기존 기법들 대비 차량의 이동속도 증가에 따른 도플러 천이에 강인한 특성을 가지며, 동일한 안테나 개수 조건에서 10dB이상의 SNR 성능 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 같은 환경에서 QPSK 변조 기법을 사용하였을 때의 PER 성능을 비교한 것이다. 변조 레벨이 높아질수록 기존 기법들의 경우, 데이터 수신이 완전히 불가능할 정도로 에러 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 반면 제안하는 기법은 높은 변조 레벨에서도 도플러 천이로 인한 채널의 변화에 적응적으로 동작하여 채널 추정 오류를 최소화 하며 동일한 안테나 개수 조건에서 여전히 10dB이상의 SNR 성능 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 우리는 차량 간 무선 통신 WAVE 규격에서 물리계층 PER 성능 향상을 위하여 다중 수신안테나 기반 새로운 MRC 패킹 고정밀 채널추정기법을 제안하였다. 또한 기존 패킷단위 MRC 채

널추정기법들과 달리 제안하는 기법은 각 OFDM 심볼단위에서 시간영역 신뢰성 테스트와 MRC 패킹 과정으로 얻은 다이버시티 이득을 통해 신뢰성이 극대화 된 채널 값을 지속적으로 업데이트 해 나가기 때문에 훨씬 더 뛰어난 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 끝으로 우리는 Coda Wireless 실측 채널 환경을 기반으로 구현된 링크레벨 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 기법의 우수성을 입증하였다.

References

- [1] K. Zheng, Q. Zheng, H. Yang, L. Zhao, L. Hou, and P. Chatzimisios, "Reliable and Efficient Autonomous Driving: The Need for Heterogeneous Vehicular Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 12, pp. 72-79, Dec. 2015.
- [2] A. Ghosh, V. V. Paranthaman, G. Mapp, O. Gemikonakli, and J. Loo "Enabling Seamless V2I Communications: Toward Developing Cooperative Automotive Applications in VANET Systems", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 12, pp. 80-86, Dec. 2015.
- [3] C. Lin, C. Sun, J. Lin, and B. Chen, "Performance evaluations of channel estimations in IEEE 802.11p environments", in *Proc. Int. Conf. Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, pp. 1-5, Oct. 2009.
- [4] J. A. Fernandez, K. Borries, L. Cheng, B. V. K. Vijaya Kumar, D. D. Stancil, and F. Bai, "Performance of the 802.11p Physical layer in vehicle-to-vehicle environments", *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, Vol. 61, No. 1, pp. 3-14, Jan. 2012.
- [5] Z. Zhao, X. Cheng, M. Wen, B. Jiao, and C. X. Wang, "Channel Estimation Schemes for IEEE 802.11p Standard", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol. 5, No. 4, pp. 38-49, Oct. 2013.
- [6] Y. K. Kim, J. M. Oh, Y. H. Shin, and C. Mun, "Time and Frequency Domain Channel Estimation Scheme for IEEE 802.11p", in *Proc. IEEE International Conference on Intelligent*

Transportation Systems(ITSC), pp. 1085-1090, Oct. 2014.

- [7] J. M. Oh and C. Mun, "Analysis and Modeling of IEEE 802.11p Wireless Channel Characteristics in Domestic Channel Characteristics in Domestic Radio Propagation", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 14, No. 2, pp. 45-51, Feb. 2016.
- [8] S. Lim and C. Song, "Iterative Channel Estimation Method to Enhance PER in V2V Communications based on IEEE 802.11p", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 12, pp. 79-88, Dec. 2016.
- [9] Maier, Georg, Alexander Paier, and Christoph F. Mecklenbräuker, "Channel tracking for a multi-antenna ITS system based on vehicle-to-vehicle tunnel measurements", Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2012 IEEE 19th Symposium on. IEEE, pp. 1-6, Nov. 2012.
- [10] Yan, Hao, Xin Zhang, and Dacheng Yang. "Performance enhancement of IEEE 802.11 p system using a novel channel estimation scheme." Communications and Networking in China (ChinaCom), 2015 10th International Conference on. IEEE, pp. 787-792, Aug. 2015.
- [11] Malik Kahn, "IEEE 802.11 Regulatory SC DSRC Coexistence Tiger Team - V2V Radio Channel Models", Feb. 2014.

저자소개

백 승 환 (Seunghwan Baek)



2012년 3월 ~ 현재 :
한국교통대학교 학사과정
관심분야 : MIMO, V2X, 5G
prototyping

한 승 호 (Seungho Han)



2013년 3월 ~ 현재 :
한국교통대학교 학사과정
관심분야 : 무선통신, V2X, MIMO

임 성 목 (Sungmook Lim)



2005년 2월 : 연세대학교
전기전자공학부(공학사)
2012년 8월 : 연세대학교
전기전자공학부(공학박사)
2012년 9월 ~ 2014년 3월 :
연세대학교 박사후연구원
2014년 4월 ~ 현재 : 한국교통
대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 다중 반송파 시스템, OFDM, 릴레이 시스템,
ITS

강 도 옥 (Do-Wook Kang)



2004년 2월 : 동신대학교
전기전자공학과(공학석사)
2017년 ~ 현재 : 충남대학교
전자전파정보통신공학과
박사과정
2005년 ~ 2011년 : ㈜휴메이트
기술연구소 책임연구원
2011년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임기술원
관심분야 : 디지털 이동통신, 차량통신, 5G

오 현 서 (Hyun Seo Oh)



1982년 2월 : 숭실대학교
전자공학과(공학사)
1985년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
1998년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학박사)
1982년 ~ 현재 : 한국전자통신
연구원 책임연구원
관심분야 : 디지털 이동통신, ITS, V2X 통신

송 창 익 (Changick Song)



2007년 8월 : 고려대학교
전자전기전파공학부(공학사)

2012년 8월 : 고려대학교
전자전기공학과(공학박사)

2012년 9월 ~ 2013년 4월 : 고려
대학교 정보통신기술연구소
연구교수

2013년 5월 ~ 2014년 8월 : Imperial College London,
박사후과정 연구원

2014년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 정보통신공학과
조교수

관심분야 : 다중안테나전송이론, 무선채널모델링,
차량통신시스템, 부호이론, 네트워크정보이론