

IEEE 802.11p에서 파일럿 부반송파를 이용한 채널추정 기법

Ren Yongzhe^{*}, 박 동 찬^{*}, 김 석 찬^o

Pilot Subcarrier Based Channel Estimation Scheme in IEEE 802.11p Systems

Yongzhe Ren^{*}, Dong Chan Park^{*}, Suk Chan Kim^o

요 약

이동 중의 차량에서 멀티 서비스를 지원받으자 하는 수요가 증가함에 따라 통신시스템과 차량산업을 융합하는 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 서비스가 성공적으로 수행되기 위해서는 신뢰성 있는 정보의 전달과 우수한 수신성능이 보장되어야 한다. 따라서 정확한 채널 값을 추정 할 수 있는 기법이 필요하다. 이 논문은 고속주행 환경에서 동작하는 차량용 통신 규격인 IEEE 802.11p에서 시변 채널추정을 위한 PTAU(Pilot Tone Aided Update) 결정지향 기법을 제안한다. 기존의 기법들은 시간영역에서 오류전파가 발생하므로 높은 서비스의 질을 제공하기 어렵다. 이 논문에서는 이러한 문제점의 보완을 위해 파일럿 부반송파들을 사용하였고, 주파수 대역에서 일정한 순서에 따라 추정된 값들을 업데이트시킴을 제안한다. PTAU기법은 기존의 기법들에 비해 낮은 비트오류율을 가져 고속채널에서의 추적 성능을 향상시킴을 검증하였다.

Key Words : Channel Estimation, IEEE 802.11p, Vehicular Communication, Decision-Directed, OFDM

ABSTRACT

It has been grown interests of the convergence technologies about communication systems and vehicular industry. Vehicular communications enable a number of infotainment applications to serve cars under high mobility environments. To achieve this goal, a robust and accurate channel estimation scheme is of great importance. This paper proposes an enhanced Decision-Directed channel estimation scheme called PTAU(Pilot Tone Aided Update) for IEEE 802.11p in vehicular communication environment. Existing approaches which use subsequent data symbols to estimate channel response in time domain will lead to the error propagation. In this paper, we use the pilot subcarriers to get initial channel response, then utilize the correlation characteristics to update channel response in frequency domain. Finally, Analysis and simulation results reveal that the proposed scheme outperforms in bit error rate(BER), significantly improve the performance of the estimation.

* 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

◆ First Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, renyz0525@pusan.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, sckim@pusan.ac.kr, 종신회원

* Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, dongchan@pusan.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-04-119, Received April 13, 2015; Revised May 8, 2015; Accepted May 8, 2015

I. 서 론

최근 운전자의 안전과 편의성을 높이기 위한 통신 기술과 자동차산업의 융합의 중요성이 부각되고 있다. 이동 중의 차량에서 인포테인먼트(infotainment) 서비스를 제공 받는 텔레매틱스가 도입되고 있지만 자동차 운전자와 도로 이용자들의 안전성을 향상시키는 서비스는 상대적으로 부족하다. 이동 중의 차량 간 통신(vehicle-to-vehicle) 및 차량과 인프라간의 통신(vehicle-to-infrastructure)을 이용하여 주기적으로 차량 정보 및 안전에 관련된 메시지를 상호 교환함으로써 위험상황을 예측할 수 있고, 사고 발생 가능 상황에 신속한 대처를 하여 운전자의 안정성을 확보할 수 있다^{1,2)}.

위와 같은 서비스가 성공적으로 수행되기 위해서는 차량들 사이의 원활한 통신이 핵심이며, 무선으로 전송되는 정보 데이터가 신뢰성 있게 주고받아야 하며, 우수한 수신성공률 및 전달 지연이 보장 되어야 한다. IEEE에서는 차량 안전 통신 규격의 하나인 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 표준을 제시하였다. 물리계층 및 MAC계층으로 사용되는 IEEE 802.11p 표준은 기존 IEEE 802.11a 표준에서 거의 모든 물리계층의 기능이 유지되고 있으나 이동시에 생기는 도플러 효과를 줄일 수 있도록 신호대역폭과 전송속도를 낮추었다. 고속으로 이동하는 환경에서 단순한 채널추정 방식을 사용할 경우 빠른 페이딩의 영향으로 채널이 급변하여 시스템의 수신 성능이 저하되고 고차 변조방식에선 이러한 문제가 더욱 선명해진다. 따라서 빠르게 이동하고 있는 차량들의 통신을 목적으로 설계된 IEEE 802.11p의 채널추정 기법은 상대적으로 복잡하고 어렵다³⁾.

IEEE 802.11p에서 채널추정기법은 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 방법으로 결정지향 채널추정 방식이 있는데, STA⁴⁾, CDP⁵⁾ 등 기존의 기법들에서 강판정과정을 거쳐 얻은 값이 정확하지 않을 때 추정하려는 채널 값에도 이상치(outlier)가 생긴다. 이 값을 이용하여 업데이트한 다른 추정된 채널 값들도 전부 오류가 생기게 된다. 즉 오류전파(error propagation)가 생겨서 프레임이 끝날 때까지 채널 추정 값의 오차가 생기고 수신 성능을 현저히 감소시키는 결과를 초래하게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 이 논문에서는 결정지향 채널추정에서 발생하는 오류전파를 최소화 시키는 기법을 제안한다.

이 논문의 기여는 아래와 같이 요약할 수 있다. 1) 제안한 파일럿 부반송파를 이용한 결정지향 채널추정

기법인 PTAU (Pilot Tone Aided Update)는 주파수 대역에서 매 OFDM 심벌마다 4개의 파일럿 부반송파들에 의해 얻어진 초기 채널 추정 값들을 이용하여 아래 위 방향으로 일정한 순서에 따라 결정지향 방법으로 업데이트 시킨다. PTAU는 기존의 결정지향 채널추정 기법 중에서 발생하는 문제점인 오류전파를 최소화 한다. 또한 차량들 상대속도의 영향을 받지 않기 때문에 급격하게 변하는 차량용 통신의 채널 값들을 보다 더 정확하게 추정하여 서비스의 질을 향상시킬 수 있다.

2) PTAU 채널추정 기법은 IEEE 802.11p의 구조를 바꾸지 않는 전제하에서 제안하였으므로 차량용 통신환경뿐만 아니라 대부분의 OFDM을 기반으로 하는 무선 통신 표준의 시변 채널에서의 채널추정 기법으로도 사용할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.11p 표준의 물리계층과 기존의 결정지향 채널추정 기법들의 시스템 모형을 소개한다. 3장에서는 파일럿 부반송파를 이용한 결정지향 채널추정 기법을 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통해 기존 알고리즘과의 비교 및 성능을 평가하고 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 시스템 모형

IEEE에서는 무선 랜 802.11a 표준을 기반으로 802.11p라는 새로운 표준을 제시하였다. 기존 IEEE 802.11a 표준에서 거의 모든 물리계층의 기능을 유지하고 있으나 고속 이동시에 생기는 도플러 효과를 줄일 수 있도록 대역폭을 10MHz 낮추고 전송 속도도 절반으로 낮추었다. 또한 기존의 무선랜 표준과는 다르게 ISM밴드가 아닌 5.9GHz대의 주파수인 5.835 ~ 5.925GHz의 주파수를 사용한다. IEEE 802.11p 방식은 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: orthogonal frequency-division multiplexing) 기법을 기반으로 한다.

OFDM 방식은 전송 효율이 높고, 단일 반송파 방식과 비교하였을 때 상대적으로 부채널 수만큼 심벌 구간을 확대시키는 효과가 있어 심벌간 간섭에 강하다. 또한 보호구간을 삽입하여 다중경로 채널의 지연 확산에도 강한 장점이 있다⁴⁾.

IEEE 802.11p 표준의 패킷구조는 그림 1과 같다. 매 패킷은 프리앰블, 신호영역, 데이터 영역으로 구성되었다. 프리앰블은 동기를 맞추기 위한 동일한 10개의 1.6μs 짧은 훈련 심벌과 초기 채널 추정을 위한 2

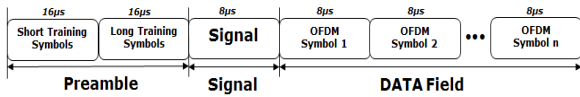


그림 1. IEEE 802.11p 패킷 구조
Fig. 1. IEEE 802.11p PHY packet structure

개의 긴 훈련 심벌로 구성되었고, 신호영역은 단 하나 8 μs의 OFDM심벌로 구성되어 있고 변복조 방식 및 부호율과 같은 정보를 포함하고 있으며, 데이터영역은 OFDM 데이터 등으로 구성된다. 데이터 속도(data rate)는 10MHz의 대역폭을 이용하여 다양한 변조방식에 따라 3 ~ 27Mbps를 지원한다^[5].

표 1은 IEEE 802.11p 표준의 물리계층의 특성을 요약한 것이다. OFDM 신호는 패킷단위로 신호를 전송하며 12개의 직류성분, 48개의 데이터, 4개의 파일럿 부반송파로 구성되어있다. 파일럿 부반송파는 -21, -7, 7, 21에 위치하여 있다. 이러한 파일럿 부반송파들은 주파수 편차(Frequency Offset)를 보상하기 위하여 사용된다. 표 1에 나와 있는 기본적인 스펙 이외에 송신단에서는 높은 송신세기와 날카로운 스펙트럼 마스크를 가지고 송신단에는 높은 수신감도를 가지도록 설계되어 있다.

주파수 대역에서의 신호 모형은 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$Y_i(k) = H_i(k)X_i(k) + N_i(k) \quad (1)$$

i 는 OFDM심벌 인덱스이며 k 는 부반송파 인덱스이다. $Y_i(k)$ 과 $X_i(k)$ 는 각각 부반송파들을 통해 수신된 신호 및 송신 신호이며, $H_i(k)$ 는 채널의 값이고 $N_i(k)$ 는 잡음이다. 추정 기법은 $H_i(k)$ 값을 얼마나 정확하게 추정하는가를 목적으로 한다.

표 1. IEEE 802.11p의 주요 파라미터
Table 1. Parameters of the IEEE 802.11p

parameter	Value
Bandwidth	10 MHz
Data Subcarriers	48
Pilot Subcarriers	4
FFT size	64
Symbol duration	8.0us
GI duration	1.6us

III. 제안한 결정지향 채널추정 기법

3.1 기존기법들의 문제점

차량용 통신에서 채널추정기법으로는 크게 IEEE 802.11p의 프레임 구조를 바꾸는 방식과 보존하는 방식으로 나눈다. IEEE 802.11p의 구조를 바꾸는 가장 대표적인 채널추정 방법으로 미드앰블(midamble) 기반의 기법이 있다. [6]에서와 같이 기존의 프레임 형식에 일정한 주기마다 송수신기간 약속된 정보 신호인 미드앰블을 삽입하여 전송하는 구조이다. IEEE 802.11p 프레임의 구조를 보존하고 채널 값을 추정하는 기법으로 다음과 같이 STA, CDP 등의 결정지향 기법들이 있다.

[7]에서 제안된 STA (Spectral Temporal Averaging) 채널추정 기법은 긴 훈련 심벌의 값을 통해 LS (Least Square) 기법을 사용하여 초기 채널추정 값을 구한다. 다음 등화과정을 수행하고 강판정을 통해 얻어진 값을 이용하여 주파수영역에서 평균을 내고 시간영역에서 가중치를 둔 평균법을 이용하여 최종 채널 값을 구한다.

[8]에서 제안된 CDP(Constructed Data Pilot) 채널추정 기법은 프리앰블을 이용하여 얻은 초기 채널추정 값을 매 OFDM심벌마다 시간영역에서 결정지향 방법으로 업데이트한다. 다음 인접한 두 데이터사이의 강한 상관관계를 이용하여 앞 데이터에서 계산된 채널추정 값과 비교를 한다. 새롭게 얻은 채널 추정 값을 신뢰할지 아니면 그 전의 채널추정 값을 사용할지를 결정한다. CDP기법은 등화, 강판정, LS과정, 역매핑, 비교 등 5개 과정을 거치게 된다.

기존 결정지향 채널추정 기법들의 성능을 확인하기 위하여 추정한 값과 실제 채널값의 절대치 차이를 구하였다. 그림 2는 STA, CDP기법들의 채널 오류 값이다. STA기법 같은 경우에는 주파수대역에서 인접한 채널추정 값들을 평균화 시키고 시간대역에서 가중치를 둔 평균법을 사용한 알고리즘이기에 어느 한 데이터 부반송파의 채널추정 값이 오류가 생겼을 때 인접한 부반송파뿐만 아니라 OFDM 심벌에서도 오류전파가 생긴다. CDP기법은 주파수대역에서의 평균화 과정이 생략 되었기에 인접한 부반송파사이의 오류전파는 존재하지 않는다^[9]. 그러나 인접한 두 데이터심벌사이의 강한 상관관계를 이용한 알고리즘이기에 어느 한 데이터 부반송파에서 부정확한 채널값을 추정하였다면, 프레임이 끝날 때까지 오류전파가 생기는 약점이 있다.

두 기법 모두 심벌의 길이가 짧을 때 오류가 거의

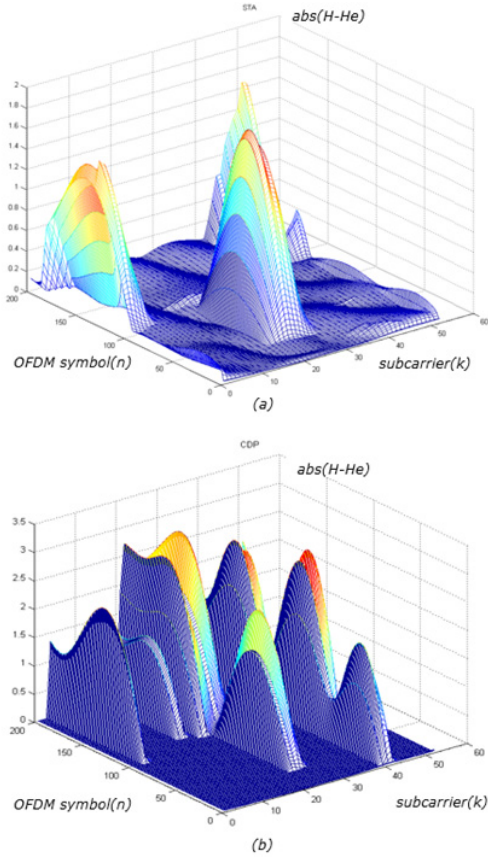


그림 2. 채널 추정오차의 절대값 (a) STA (b) CDP
Fig. 2. Absolute value of channel estimation error (a) STA (b) CDP

생기지 않지만 길이가 길어질수록 오류전파의 정도가 더욱 심해진다. 즉 시간영역에서의 오류전파를 피할 수 없다. 이러한 현상은 IEEE 802.11p 프레임의 끝 부분까지 보상하기에는 어려움이 존재한다.

3.2 제안하는 PTAU 채널추정 기법

기존 결정지향 채널추정 기법들의 문제점을 보완하고 시간대역에서의 오류전파를 최소화하기 위하여 파일럿 부반송파를 이용한 PTAU(Pilot Tone Aided Update) 결정지향 기법을 제안한다. 이 기법은 64개 부반송파들에서 OFDM 주파수 편차(frequency offset)를 보상해주기 위하여 -7, -21, 7, 21에 위치한 파일럿 부반송파들의 사용을 기반으로 한다. 매 OFDM 심벌마다 각 파일럿 부반송파들을 이용하여 주파수대역에서 결정지향 방법으로 일정한 순서에 따라 업데이트시킴을 제안한다.

그림 3은 PTAU 기법의 블록다이어그램이다. i 는 OFDM 심벌의 위치이고 k 는 데이터 부반송파들의 위치이며 p 는 파일럿 부반송파들의 위치이다. k 의 범위는 -26부터 26이며 p 의 값은 -21, -7, 7, 21이다.

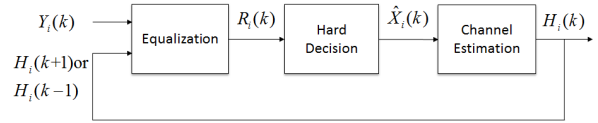


그림 3. PTAU 블록 다이어그램
Fig. 3. PTAU Block Diagram

$Y_i(p)$ 와 $X_i(p)$ 는 각각 파일럿 부반송파들의 수신된 신호, 송신된 신호이고 $H_i(p)$ 는 파일럿 부반송파들의 초기 채널추정 값이다.

1. 4개의 파일럿 부반송파들을 이용하여 LS 기법으로 4개의 초기 채널추정 값들을 구한다.

$$H_i(p) = \frac{Y_i(p)}{X_i(p)} \quad (2)$$

2. 결정지향기법을 사용하여 파일럿 부반송파들과 인접한 데이터 부반송파들의 채널추정 값을 구한다. k 가 커지는 방향으로 등화과정은 식 (3)과 같다. 이 과정을 주파수 위방향 결정지향 등화라고 설정한다.

$$R_i(k) = \frac{Y_i(k)}{H_i(k-1)} \quad (3)$$

k 가 작아지는 방향으로 등화를 진행하는 공식은 아래와 같다. 이 과정을 주파수 아래 방향 결정지향 등화라고 한다.

$$R_i(k) = \frac{Y_i(k)}{H_i(k+1)} \quad (4)$$

주파수 위 방향 결정지향 인지 아래 방향 결정지향 인지는 그림 4와 같이 데이터 부반송파 k 에서 가장 가까운 파일럿 부반송파 p 의 위치에 따라 결정된다.

3. 등화를 진행한 후 사용된 변조방식으로 강판정 한다. 강판정은 식 (5)와 같다. 여기서 $Q(r)$ 는 등화된 신호 r 로부터 가장 가까운 성상도(constellation) 상의 신호를 매핑하는 연산이다.

$$\hat{X}_i(k) = Q(R_i(k)) \quad (5)$$

4. 마지막으로 LS 채널추정 기법을 이용하여 최종적인 채널추정을 해준다.

$$H_i(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{X}_i(k)} \quad (6)$$

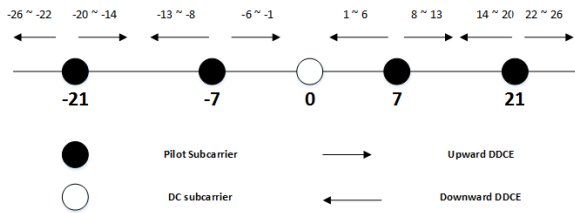


그림 4. PTAU 주파수 위, 아래 방향 결정지향
Fig. 4. PTAU Upward, Downward Decision-Directed Channel Estimation

PTAU 기법의 가장 큰 장점은 시간대역에서의 오류전파가 없다는 것이다. 또한 주파수대역에서 오류가 발생해도 최대 7개 부반송파밖에 영향을 주지 않고 심벌끼리 독립적으로 채널추정을 진행한다. 즉 매 OFDM마다 4개의 파일럿 부반송파들을 통해 정확한 채널 값들을 구할 수 있고 이 값들을 이용하여 위에서 기술한 알고리즘에 의해 값들을 구하기에, 이러한 과정을 통하여 얻은 값들은 인접한 다른 OFDM 심벌에 영향을 주지 않는다. 따라서 프레임이 끝날 때까지 높은 수신 성능을 가지고 있다.

IV. 모의실험

실험환경은 다음과 같다. 고속으로 이동하는 시변 채널은 5.9GHz대역에서 동작하고 IEEE 802.11p규격을 지원하는 HIPERLAN (High Performance Radio LAN)으로 모델링하였다. NLOS(Non line of sight)이고 실외환경을 구현하는 모델인 Model B와 Model E의 프로파일은 각각 표 2과 같다^[10]. Model B는 100ns의 평균 rms(root mean square) 지연 확산을 가지고 Model E는 주파수대역에서 훨씬 빨리 변하는 채널모델이며 250ns의 평균 rms 지연 확산을 가진다. 프레임 개수는 10000개로 정하고 매 프레임마다 200

표 2. HIPERLAN 2 Model B, E 채널 프로파일
Table 2. HIPERLAN 2 Model B, E channel profile

Model B				Model E			
Delay (ns)	Power (dB)	Delay (ns)	Power (dB)	Delay (ns)	Power (dB)	Delay (ns)	Power (dB)
0	-2.6	230	-5.6	0	-4.9	320	0.0
10	-3.0	280	-7.7	10	-5.1	430	-1.9
20	-3.5	330	-9.9	20	-5.2	560	-2.8
30	-3.9	380	-12.1	40	-0.8	710	-5.4
50	0.0	430	-14.3	70	-1.3	880	-7.3
80	-1.3	490	-15.4	100	-1.9	1070	-10.6
110	-2.6	560	-18.4	140	-0.3	1280	-13.4
140	-3.9	640	-20.7	190	-1.2	1510	-17.4
180	-3.4	730	-24.6	240	-2.1	1760	-20.9

개의 OFDM 심벌이 있다고 설정하였으며 변조방식은 QPSK를 사용하였다. 실험을 수행하는 SNR의 범위는 0dB ~ 30dB 이다. 상수인 빛의 속도는 $c = 3 \times 10^8$ m/s이고 반송파의 주파수는 $f_c = 5.9$ GHz이다. 도플러 확산(Doppler Spread)의 관계식은 다음과 같다.

$$f_{doppler} = \frac{v \times f_c}{c} \quad (7)$$

아래와 같이 도플러 확산의 값을 설정한다. 차량들 사이의 상대속도가 $v = 150$ km/h라고 가정하면 도플러 확산은 $f_{doppler} = 819$ KHz이며, $v = 300$ km/h일 때 도플러 확산은 $f_{doppler} = 1639$ KHz이다. 도플러 확산이 819KHz, 1639KHz일 때 각각 Model B와 Model E의 채널에서 모의실험을 진행하였다.

Model E는 Model B 보다 주파수대역에서 채널환경이 훨씬 더 빠르게 변한다. Model B와 Model E에서의 모의실험결과 비트오류율의 비교분석은 그림 5과 같다. MSE(Mean Square Error), 평균오차의 관점

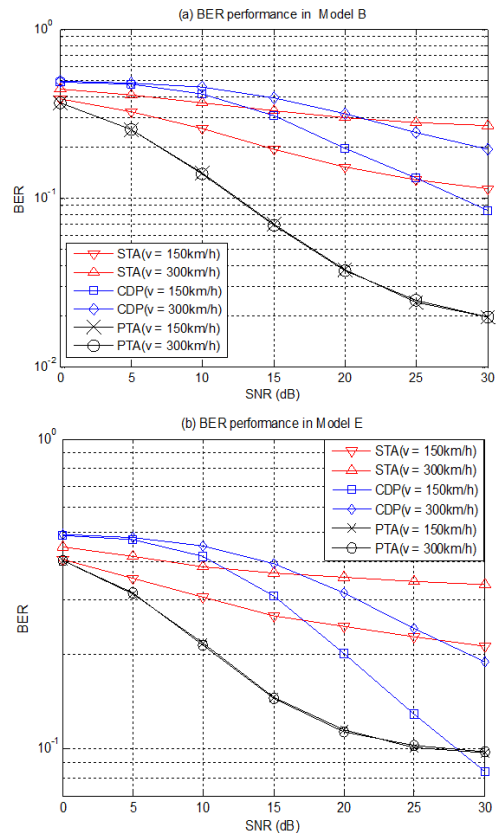


그림 5. STA, CDP, 그리고 PTAU기법들의 BER 성능비교
(a) Model B에서의 BER (b) Model E에서의 BER
Fig. 5. Comparison of BER performance of the STA, CDP, and PTAU schemes in (a) Model B (b) Model E

에서 비교분석한 결과는 그림 6과 같다.

(a)는 Model B에서의 BER(Bit Error Rate)결과이다. 제안한 기법은 기존 결정지향 채널추정 기법보다 월등한 성능개선을 보였다. $v = 150\text{km/h}$ 에서 BER가 10^{-1} 일 때, PTAU기법은 SAT기법보다 20dB 이상의 개선을 보이고 CDP기법보다 약 15dB정도의 성능개선을 보였다. $v = 300\text{km/h}$ 에서 BER가 10^{-1} 일 때, PTAU기법은 SAT 및 CDP보다 훨씬 높은 성능을 보인다. 차량 간의 상대속도가 커질수록, 즉 도플러확산의 값이 커질수록, 이러한 성능의 차이가 더욱 선명하다. 기존의 기법들과 비교하였을 때 PTAU 기법은 추정해야 할 채널의 값과 제일 근사한 결과를 추정할 수 있음을 보여준다.

(b)는 Model E에서 BER결과이다. PTAU기법은 여전히 기존 결정지향 채널추정 기법보다 월등한 성능개선을 보였다. $v = 150\text{km/h}$ 에서 BER가 10^{-1} 일 때, PTAU기법은 SAT기법보다 약 20dB 이상의 개선을 보이고 CDP기법보다 약 3dB정도의 성능개선을 보였다. 차량 간의 상대속도가 커질수록, 도플러확산

의 값이 커질수록, CDP와 STA와 비교하였을 때 이러한 성능의 차이가 더욱 선명하다. 또한 모의 실험결과 Model E와 비교했을 때 채널이 급격하게 변하지 않는 Model B에서의 PTAU의 성능차이는 더욱 선명하였다.

그림 6은 Model E와 Model B환경에서의 PTAU의 성능비교를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 PTAU 기법은 Model E에서도 우수한 성능 개선이 있지만 Model B에서 Model E보다 더 좋은 성능을 가지고 있다. 또한 PTAU는 $v = 150\text{km/h}$ 및 $v = 300\text{km/h}$ 일 때 거의 성능 변화가 없다. 즉 차량 간 상대속도의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. PTAU기법은 시간대역에서 오류전파를 없앴고, 주파수대역에서 오류전파를 최대 7개로 줄였다. 심벌끼리 독립적으로 채널 추정을 진행하기에 프레임이 끝날 때까지 높은 수신 성능을 가지고 있다.

V. 결론

차량안전을 포함한 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 신뢰성 있는 통신링크를 제공하는 것이 필수적이다. 이 논문에서는 차량통신환경에서 신뢰성 있는 통신링크를 제공하기 위해 IEEE 802.11p 표준을 살펴보고 채널추정 기법들을 분석하였고, 기존의 문제점을 보완하기 위해 개선된 결정지향 기법을 제안한다. IEEE 802.11p의 프레임 구조를 변화시키지 않는 전제하에서 파일럿 부반송파를 이용하여 주파수 대역에서 일정한 순서에 따라 채널 값들을 추정하는 기법인 PTAU를 제안하였다.

모의실험 결과 고속 이동전파 환경에서 PTAU기법은 채널 값을 잘 추정함으로써 수신 성능을 높이고 통신의 신뢰성을 높이는데 효과가 있음을 확인하였다. PTAU기법은 다양한 차량용 통신 채널 및 도플러 확산에서 기존의 기법들과 평균 제공 오차 및 비트오류율의 관점에서 비교한 결과 월등한 성능 차이를 보여주었다. PTAU기법은 시간대역에서 오류전파를 줄였고 주파수대역의 오류전파도 최소화하여 프레임이 끝날 때까지 우수한 성능을 보였다. 시뮬레이션 결과 제안한 기법은 차량 간의 상대속도의 영향, 즉 도플러 확산의 영향을 크게 받지 않는다는 큰 장점이 있다. 실제 차량용 통신 환경은 차량들 사이의 상대속도가 자주 변한다. 기존의 기법들은 상대속도에 따라 성능 차이가 크지만 PTAU 기법은 우수한 성능을 유지함으로써 안정성에서 큰 개선이 있음을 의미한다. PTAU 채널추정 기법의 또 다른 우수한 장점은 바로 차량용

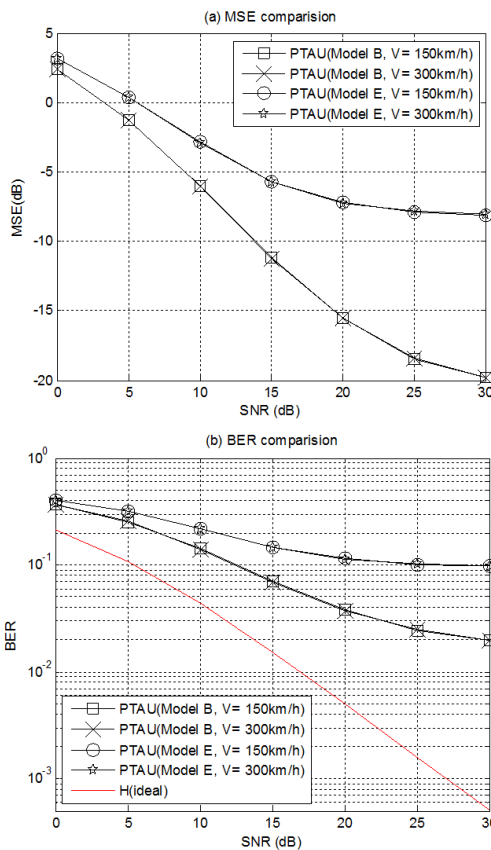


그림 6. STA, CDP, 그리고 PTAU기법들의 BER 성능비교
(a) Model B에서의 BER (b) Model E에서의 BER
Fig. 6. Comparison of BER performance of the STA, CDP, and PTAU schemes in (a) Model B (b) Model E

통신환경뿐만 아니라 대부분의 OFDM을 기반으로 하는 무선 통신 표준의 시변 채널에서의 채널추정 기법으로도 사용할 수 있다는 점이다.

이 논문에서 제안한 PTAU기법은 채널의 왜곡을 정확하게 보상하여 차량용 통신의 품질 및 신뢰도를 크게 높였다. 현재보다 더 좋은 성능을 가지고 있는 기법을 제안하려면 앞으로 주파수대역에서의 오류전파를 더 작은 범위로 줄이는, 개선된 파일럿 부반송파를 이용한 기법이 연구되어야 할 것이다.

References

[1] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, "A tutorial survey on the Vehicular ad hoc networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 6, pp. 164-171, Jun. 2008.

[2] S. Kim, "An evaluation of the performance of wireless network in vehicle communication environment," *J. KICS*, vol. 36, no. 10, pp. 816-822, Oct. 2011.

[3] C. F. Mecklenbrauker, et al., "Vehicular channel characterization and its implications for wireless system design and performance," in *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1189-1212, Jul. 2011.

[4] J. 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.

[5] IEEE standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11, *Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications*, IEEE Standard 802.11p, 2010.

[6] W. Cho, "A measurement study of midamble based channel estimation in IEEE 802.11p WAVE system," *J. KIECS*, vol. 8, no. 5, pp. 733-738, May 2013.

[7] 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. Veh. Tech.*, vol. 61, no. 1, pp. 3-14, Jan. 2012.

[8] Z. Zhao, X. Cheng, M. Wen, L. Yang, and B. Jiao, "Constructed data pilot-assisted channel estimators for mobile environments," *IEEE Transportation on ITS*, vol. 16 no. 2, pp. 1-11, Apr. 2015.

[9] Z. Zhao, X. Cheng, M. Wen, and B. Jiao, "Channel estimation scheme for IEEE 802.11p standard," *Intell. Transportation Syst. Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 38-49, Oct. 2013.

[10] J. Medbo, "Radio wave propagation characteristics at 5GHz with modeling suggestions for HIPERLAN/2," *ETSI BRAN 3ERIO74A*, Jan. 1998.

Ren Yongzhe (Yongzhe Ren)



2013년 7월 : 하얼빈공정대학교 컴퓨터공학부 졸업
 2013년 9월~현재 : 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 차량 통신, 사물인터넷, 센서네트워크

박 동 찬 (Dong Chan Park)



2001년 2월 : 부산대학교 전기공학과 졸업
 2004년 2월 : 부산대학교 전자공학과 석사
 2004년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 이동통신, Scheduling, 4G, OFDM, 5G

김 석 찬 (Suk Chan Kim)



1993년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 졸업

1995년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사

2000년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 박사

2000년 7월 : 한국전자통신연구
소(ETRI) 연구원

2001년 7월 : Princeton 대학교 박사후 과정

2002년 2월 : Lehigh 대학교 박사후 과정

2002년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 수중통신