

# 고속 이동 전파환경에서 결정지향 채널 추정 기법의 개선

Ren Yongzhe\*, 박동찬\*, 김석찬\*\* 정회원

## A Novel Enhanced Decision-Directed Channel Estimation Scheme in High-Speed Mobile Environments

Ren Yongzhe\*, Dong Chan Park\*, and Suk Chan Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

운전자의 안전과 편의성을 높이기 위해 통신시스템과 자동차와의 융합의 중요성이 부각되고 있다. 질 높은 서비스를 지원하기 위해 선 차량들 간에 정보가 신뢰성 있게 전달되어야 한다. 따라서 고속주행 환경에서는 채널이 급격하게 변하므로 채널 값을 정확히 추정할 수 있는 기법이 중요하다. 이 논문은 차량용 무선 통신 규격인 IEEE 802.11p에서 시변 채널 추정을 위해 개선된 결정지향 기법인 FADP(Frequency Averaging Data Pilot)를 제안한다. 주파수 대역에서 평균화 과정을 거치고 시간 대역에서 데이터 심벌간의 강한 상관관계를 이용하여 좀 더 정확하게 채널 추정 값을 구하였다. 평균 제곱 오차 및 비트 에러율의 관점에서 기존의 기법들과 비교분석하여 FADP의 성능을 검증하였다.

**Key Words** : Channel Estimation; WAVE; IEEE 802.11p; OFDM;

### ABSTRACT

It has been a big trend of the convergence technologies about communication systems and vehicular industry to improve safety and convenience. To achieve a number of infotainment vehicular applications, vehicles should transmit information with high reliability. A robust and accurate channel estimation scheme is of great importance to achieve the goal. In this paper, we present a novel enhanced decision-directed channel estimation scheme called FADP (Frequency Averaging Data Pilot) for dynamic time-varying vehicular channels in IEEE 802.11p. We use linear averaging filtering in frequency domain, and utilize the correlation characteristic of the channels between the adjacent two data symbols, update the CR in time domain to get more accuracy. Finally, analysis and simulation results reveal that compared with exist schemes, the proposed scheme has a good performance in mean square error (MSE) and bit error rate (BER).

## I. 서 론

차량통신 기술은 교통안전뿐만 아니라 새로운 시장을 창출 할 블루오션 분야로 떠오르고 있다. WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment) 통신기술은 차량이 고속을 이동하는 전파 환경에서 차량 간 또는 차량과 인프라 간 패킷 프레임을 100msec 이내의 짧은 시간 내에 주고받는 기술이다. 차량 간 통신을 이용하여 주기적으로 차량 정보 메시지 및 각종 안전 관련 메시지를 교환함으로써 서로의 위치 및 상황을 인지하여 돌방 상황이나 사고 발생 가능 상황에 신속하게 운전자에게 경고를 주어 안정성을 확보한다. 이러한 서비스의 핵심은 차량과 인프라 간 또는 차량과 차량

사이의 원활한 통신이며, 정보 데이터가 신뢰성 있고 우수한 송수신 성공률이 보장되어야 한다.[1]

이를 위해 IEEE에서는 무선 랜 802.11a 표준을 기반으로 802.11p라는 새로운 표준을 제시하였다. WAVE 통신 표준은 5.9GHz전용 주파수 대역을 사용하며, 물리계층과 MAC 계층을 포함한 IEEE 802.11p 규격으로 구성 되어 있다. 거의 모든 물리계층의 기능이 유지되고 있으나 고속으로 이동하고 있는 차량들의 통신을 목적으로 설계 되어 있기 때문에 채널 추정 기법은 상대적으로 복잡하고 어렵다.

이 논문에서 제안하는 기법은 차량용 통신 표준인 IEEE 802.11p기존의 프레임 구조를 변화시키지 않는 전제 하에서 주파수 대역의 평균화를 거쳐 이상점을 줄이고, 시간 축에서

\* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2013R1A1A4A01012070)

\*\*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 통신시스템연구실, \*\*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 (sckim@pusan.ac.kr), 교신저자

접수일자 : 2015년 1월 23일, 수정완료일자 : 2015년 3월 10일, 최종게재확정일자 : 2015년 3월 18일

인접한 데이터 심벌의 강한 상관관계(correlation)를 이용하여 새롭게 얻은 채널 추정 값을 업데이트 할지 보존을 할지를 판단한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 채널추정 기법들과 제안하는 기법의 시스템 모형을 설명한다. 3장에서는 모의실험을 통해 기존의 기법과 비교를 하여 성능을 평가하고 4장에서는 결론을 기술한다.

## II. 시스템 모형

IEEE 802.11p방식은 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal frequency-division multiplexing) 기법을 기반으로 한다. 프레임은 동기화를 맞추기 위한 짧은 훈련 심벌과 초기 채널 추정을 위한 긴 훈련 심벌로 구성된 프리앰블과, 변복조 방식 및 부호율과 같은 정보를 포함한 신호영역, 그리고 OFDM 데이터 등으로 구성되었다.[2]

주파수 대역에서 신호 모형은 다음과 같이 표현할 수 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. 논문에서 제안하는 채널 추정 기법은  $H_i(k)$  값을 얼마나 정확하게 추정하는가를 목적으로 한다.

차량용 통신에서의 채널추정기법으로는 IEEE 802.11p의 프레임 구조를 바꾸는 방식과 보존하는 방식으로 나눈다. [3]에서 제안된 STA (Spectral Temporal Averaging) 채널추정 기법은 긴 훈련 심벌의 값을 통해 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.

[4]에서 제안된 CDP(Constructed Data Pilot) 채널추정 기법은 프리앰블을 이용하여 얻은 초기 채널추정 값을 매 OFDM심벌마다 시간영역에서 결정지향 방법으로 갱신하고 앞 데이터에서 계산된 채널추정 값과의 비교를 통하여 최종 채널추정 값을 결정한다.

제안하는 기법인 FADP(Frequency Averaged Data Pilot) 채널추정 기법은 표준의 프레임구조를 보존하는 방식으로서 파일럿 대신에 데이터를 코-파일럿으로 이용하였다. 주기적으로 모든 부반송파에 대한 채널값을 추정 한 후 주파수 대역에서 인접한 4개 채널추정 값들을 평균화하여 이상점을 제거하였다. 다음 인접한 데이터들의 강한 상관특성을 이용하여 새롭게 얻은 채널 추정 값을 신뢰할지 아니면 그 전의 채널추정값을 사용할지를 결정한다. 위와 같은 절차를 부단히

반복하면서 보다 더 정확한 채널 값을 추정하여 성능을 개선시켰다. 제안하는 기법은 등화, 강판정, Least Square (LS) 기법, 주파수대역 평균, 역매핑, 비교 등 6개 과정을 거치게 된다. 아래 기법의 자세한 진행과정에 대해 설명을 한다.

1. 등화를 진행하는 공식은 아래와 같다.

$$R_i(k) = \frac{Y_i(k)}{H_{i-1}(k)} \quad (2)$$

2. QPSK 변조 방식으로 강판정(Hard Decision)을 진행한다. 강판정을 하는 방법은 공식 (3)과 같다.  $Q(r)$ 는 등화 된 신호  $r$ 로부터 가장 가까운 성상도(constellation) 상의 신호를 매핑 하는 연산이다.

$$\hat{X}_i(k) = Q(R_i(k)) \quad (3)$$

3. LS기법으로 대략적인 채널추정을 한다.

$$H_i(k) = \frac{Y_i(k)}{\hat{X}_i(k)} \quad (4)$$

4. 주파수 대역에서 인접한 4개 값들과의 평균을 통하여 이상점을 제거하고 정확도를 높여준다.

$$H_{update}(k) = \sum_{\lambda=-\beta}^{\lambda=\beta} \omega_{\lambda} H_i(\lambda) \quad (5)$$

$\beta$  값은 [3]에 의해 2로 하고  $\omega_{\lambda} = 1/(2\beta + 1)$ 이다.

5. 인접한 데이터 심벌의 상관 특성을 이용하여 등화와 역매핑 과정을 진행한다.

$$R'_{i-1}(k) = \frac{Y_{i-1}(k)}{H_{update}(k)}, \hat{X}'_{i-1}(k) = Q(R'_{i-1}(k)) \quad (6)$$

$$R''_{i-1}(k) = \frac{Y_{i-1}(k)}{H_{i-1}(k)}, \hat{X}''_{i-1}(k) = Q(R''_{i-1}(k)) \quad (7)$$

6. 만약 여기서  $\hat{X}'_{i-1}(k) \neq \hat{X}''_{i-1}(k)$ 이면 추정된 채널 값은 공식 (6)처럼 계산을 할 경우 잘못된 범위로 역매핑이 되기에 최종 추정값은  $H_i(k) = H_{i-1}(k)$ 이다. 그 반대 상황인  $\hat{X}'_{i-1}(k) = \hat{X}''_{i-1}(k)$  경우 최종적인 채널 추정 값은  $H_i(k) = H_{update}(k)$ 이다.

### III. 모의실험

본 장에서는 기존 채널추정 기법과 개선된 채널추정 기법의 성능을 비교하였다. 고속으로 이동하는 시변 채널은 IEEE 802.11규격을 지원하기 위한 Non Line Of Sight 환경인 HIPERLAN model B로 사용하였으며 프로파일은 표 1과 같다.[4]

표 1. HIPERLAN 2 Model B 프로파일

Tap	Delay (ns)	Power (dB)	Tap	Delay (ns)	Power (dB)
1	0	-2.6	10	230	-5.6
2	10	-3.0	11	280	-7.7
3	20	-3.5	12	330	-9.9
4	30	-3.9	13	380	-12.1
5	50	0.0	14	430	-14.3
6	80	-1.3	15	490	-15.4
7	110	-2.6	16	560	-18.4
8	140	-3.9	17	640	-20.7
9	180	-3.4	18	730	-24.6

실험 환경은 아래와 같다. 프레임 개수를 10000개로 정하고 매 프레임마다 200개의 OFDM심벌이 있다고 설정하였고 변조방식은 QPSK를 사용하였다. 실험을 수행하는 SNR의 범위는 0dB ~ 30dB이다. 도플러 확산(Doppler Spread)이 1000Hz일 때 제안한 기법과 STA기법, CDP기법, LS기법을 위와 같은 실험환경에서 모의실험을 진행하였다. 모의실험 결과 MSE는 그림 1과 같다.

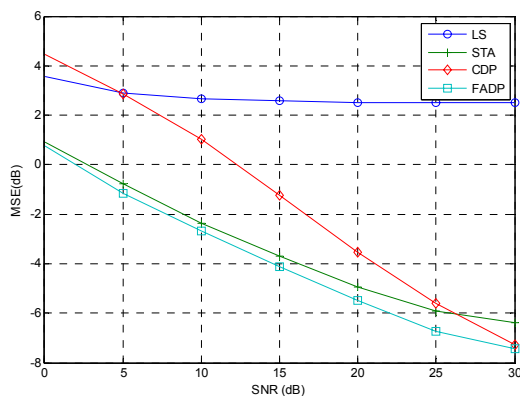


그림 1. 도플러효과가 1000Hz일 때, 기법들의 MSE 비교

제안한 기법은 MSE면에서 LS과 CDP보다 월등한 성능을 보이나 STA보다 약간의 성능향상을 보인다. SNR이 10dB 일 때 FADP의 MSE는 -4dB로 STA보다 약 1dB, CDP보다 약 3dB정도의 개선을 보였다. SNR이 15dB일 때 FADP의 MSE는 -3dB로 STA보다 약 1dB, CDP보다 약 4dB정도의 개선을 보였다.

BER 결과는 그림 2와 같다. FADP는 STA보다 근사한 차이의 성능 개선을 보이나 LS, CDP기법보다 우수한 성능개선을 보였다. BER가  $10^{-1}$ 일 때, FADP기법은 STA기법보다 약 1dB정도의 개선을 보이고 CDP기법보다 약 3dB정도의 성능개선을 보였다. 도플러효과가 커질수록, 차량사이의 상대속도가 커질수록 이러한 성능의 차이가 더욱 선명하다.

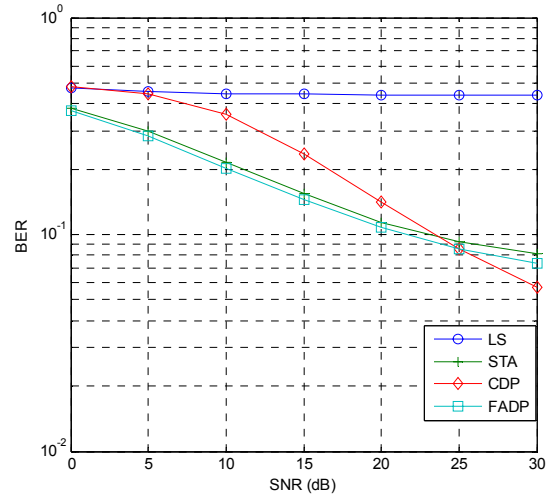


그림 2. 도플러효과가 1000Hz일 때, 기법들의 BER 비교

### IV. 결론

이 논문에서는 차량용 통신 규격인 IEEE 802.11p의 채널 추정 성능을 향상시키는 기법에 대해 연구하였다. IEEE 802.11p의 프레임 구조를 변화시키지 않는 전제 하에서 주파수 대역의 평균화와 데이터 심벌간의 강한 상관관계를 기반으로 하여 시간대역에서 비교를 진행하는 기법인 FADP를 제안하였다. 이 기법은 차량용 통신뿐만 아니라 고속 이동 전파환경에서 OFDM을 기반으로 하는 모든 무선통신시스템에서의 채널추정기법으로도 사용할 수 있다. 모의실험 결과 제안한 기법은 MSE와 BER면에서 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 고속 이동전파 환경에서 채널 값을 잘 추정함으로써 수신 성능을 높이고 통신의 신뢰성을 높이는데 효과가 있음을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] 오현서, "V2X 통신 기술 최근 동향 및 실용화 이슈", 한국통신학회지, 제 30권 11호, pp. 3-7, 2013.
- [2] 홍대기, 강법주, "WAVE 시스템에서 미드엠블을 이용한 채널 등화 방식", 한국정보통신학회논문지, 제 14권 10호, pp. 2215-2222, 2010.
- [3] Fernandez, J.A, "Performance of the 802.11p Physical Layer in Vehicle-to-Vehicle Environments," IEEE Transactions

on, Vehicular Technology, vol. 61, no. 1, pp. 3-14, 2012.

- [4] Zijun Zhao, Xiang Cheng, Miaowen Wen, Liuqing Yang, and Bingli Jiao, "Constructed Data Pilot-Assisted Channel Estimators for Mobile Environments," IEEE Transactions on Intelligent transportation systems, vol. PP, no. 99, pp. 1-11, 2014.

## 저자

Ren Yongzhe



정회원

- 2013년 7월 : 하얼빈공정대학교 컴퓨터 공학과 학사졸업
- 2013년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 석사과정

<관심분야> : 차량 통신, 사물인터넷, 센서네트워크

박 동 찬(Dong Chan Park)



정회원

- 2001년 2월 : 부산대학교 전기공학 학사졸업
- 2004년 2월 : 부산대학교 전기공학 석사졸업
- 2004년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> : 이동통신, Scheduling, 4G, OFDM, 5G

김 석 찬(Suk Chan Kim)



정회원

- 1993년 2월 : 부산대학교 전자공학 학사졸업
- 1995년 2월 : 한국 과학기술원 전기 및 전자공학 석사졸업
- 2000년 2월 : 한국 과학기술원 전기 및 자공학 박사졸업

· 2002년 2월 : 한국전자통신연구(ETRI), Princeton 대학교, Lehigh 대학교 연구원

· 2002년 3월 ~ 현재 : 부산 대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 동통신, 통신신호처리, 위성통신, 수중통신