

Jakes 채널 모델을 이용한 WAVE 통신시스템 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of WAVE Communication System using Jakes Channel Model

오세갑*, 최재명*, 강희조*

Se-Kab Oh*, Jae-Myeong Choi* and Heau-Jo Kang*

요 약

본 논문에서는 고속의 무선 채널 환경에 적합한 Jakes 채널 모델을 적용하여 5.9GHz WAVE 무선 채널을 모델링하고, WAVE 통신시스템에 대한 표준화 작업이 진행 중인 IEEE 802.11p 스펙트럼 마스크, 도플러효과, 변조방식에 따른 페이딩 신호 성좌도 및 스펙트럼을 분석한다. 또한 차량속도 즉 도플러 효과에 따른 WAVE 통신시스템의 성능을 분석한다.

Abstract

In this paper, the 5.9GHz WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) channel modeling is used by the Jakes channel model for the suitability of the fast wireless channel fluctuation. The performance analysed the fading signal constellation and the spectrum in the IEEE 802.11p spectrum mask, the Doppler effect, the modulation scheme. In addition, the vehicular speed, exactly the performance analysis the WAVE communication systems follow the Doppler effect.

Keyword : WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments), IEEE802.11p, Jakes channel model

I. 서 론

선진 각국에서는 2012년을 목표로 텔레매틱스 서비스를 위한 무선 인프라 준비를 실현하려 하고 있다. 그 일차적인 목적은 교통사고 및 교통사고 사망자 수를 획기적으로 줄이기 위한 것이다. 국가 차원의 프로젝트로 텔레매틱스 무선 인프라가 정비되면 이를 활용한 민간 차원에서의 다양한 서비스가 제공될 전망이다. 현재 IEEE에서는 미국에서 추진하고 있는 ITS 사양을 WAVE라 칭하고 이것은 IEEE 802.11p와 IEEE1609로 구성되어 있으며 차량과 노변,

차량간 통신 등 무선 인프라의 표준 규격을 연구하고 있다. 또한 유럽에서도 기본적으로 이 규격을 따르는 방침이어서 WAVE가 세계 표준 규격으로 확립될 가능성이 높아지고 있다. 기존의 통신 방식으로는 차량에서의 무선 인터넷을 포함하는 ITS에서 요구하는 다양한 서비스를 수용하는데 한계가 있다. 이러한 다양한 서비스에 대한 요구를 수용하기 위해 표준화 작업만 IEEE 802.11p에서는 고속무선채널 환경에서의 고속 전송이 가능한 OFDM 기반의 5.9GHz 대역 DSRC(Dedicated Short Range Communication)규격을 개발하고 있으며, 이미 FCC(Federal Communication

* Mokwon대학교 대학원 IT공학과 (Dept. of Information Technology Eng., Graduate School, Mokwon University)

· 교신저자 (Corresponding Author) : 강희조

· 투고일자 : 2009년 11월 10일

· 심사(수정)일자 : 2009년 11월 13일 (수정일자 : 2009년 12월 22일)

· 게재일자 : 2009년 12월 30일

Commission)에서는 채널당 10MHz로 5.850GHz ~ 5.915GHz 대역을 차세대 OFDM 기반 차세대 DSRC 를 위한 주파수 대역을 할당해 주었다[1-3].

기존의 OFDM 방식을 채택하는 IEEE 802.11a같은 무선 패킷 전송시스템에서는 송수신단간의 무선 채널에서 페이딩이 발생하여 수신단에서는 채널 등화를 위한 채널 예측과정이 필요하게 된다. 그러나 수신기의 이동속도를 고려 할 때 패킷 길이에 대응되는 시간 동안 채널 상태가 거의 일정하다고 가정할 수 있으므로 채널예측에 대한 문제를 상당히 간단하게 해결할 수 있다. 그러나 OFDM 기반의 WAVE 시스템은 차량에 탑재되어 고속 이동 중에 무선 통신을 수행해야 하므로 채널의 상태가 상대적으로 급격히 변동하므로 정지 및 저속 이동 환경에서 적용되었던 기존의 무선랜에 적용되던 OFDM시스템과는 다르게 한 프레임 내에서도 채널의 변동이 발생한다고 가정하여야 한다[4].

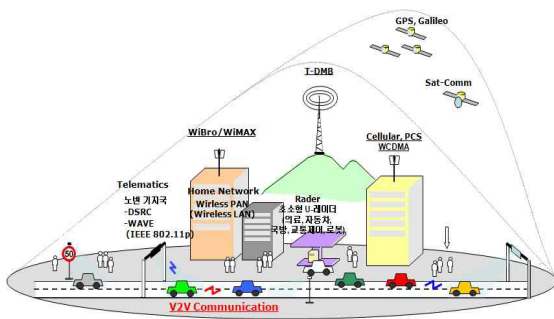


그림 1. WAVE 시스템 개념도
Fig 1. WAVE System Construction

본 논문에서는 WAVE 시스템 특징 및 해석 모델을 설명하고 Jakes 채널 모델을 이용한 WAVE 무선 채널 환경과 성능을 분석한다.

II. WAVE 시스템 개요

2-1 WAVE 시스템 특징

WAVE는 차량간 통신 및 차량 노변간 통신을 최대 54Mbps로 제공하는 차세대 ITS 무선통신이다. IEEE 802.11p 작업반에서는 1999년 FCC에서 5.9GHz

대역의 복미 ITS용으로 할당된 주파수를 활용하기 위한 무선접속 표준화를 진행하고 있다. 추진 중인 WAVE 규격은 기존의 IEEE 802.11a와 ASTM(American Society for Testing Materials)기반의 규격으로 IEEE 802.11a의 일부 내용을 수정하여 작성되고 있으며, IEEE 802.11a 무선랜과 병행하여 사용가능하며 기본적으로 10MHz 대역폭의 고속 패킷 서비스와 핸드오버를 지원한다. 또한 기존 DSRC에 없었던 차량간 Ad-hoc 네트워크를 지원하게 된다. 표 1은 WAVE의 주요 특징을 보이고 있다[5].

표 1. WAVE 주요특징
Table 1. WAVE Main Feature

항 목	특 성
주파수 대역	5.85 ~ 5.925GHz
채널	10MHz, 7개
전송속도	6 ~ 54Mbps
최대전송거리	1km
최대차량속도	200km
Modulation	QPSK OFDM
최대전송전력	28.8dBm

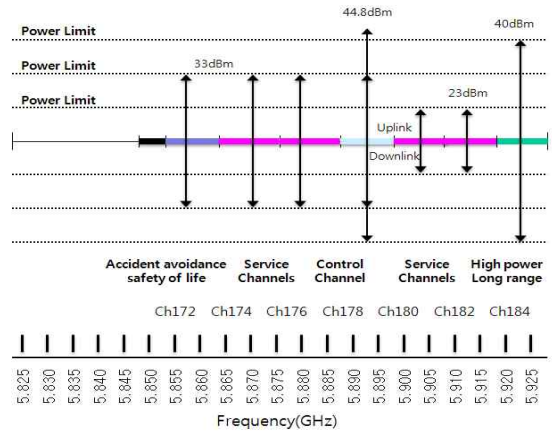


그림 2. WAVE 채널 할당 및 전송전력제한
Fig 2. WAVE Channel Allotment and Transmit Power Limit

WAVE에서 사용되고 있는 채널은 그림 2와 같이 7개이며, ITS 서비스 중 가장 신뢰성이 요구되는 긴급구조 및 차량안전을 위한 전용 채널을 별도로 할당하고 있다. 그림 2는 WAVE의 채널 할당을 보이고 있다.

2-2 프리앰블 구조

그림 3과 표 2는 IEEE 802.11p 프리앰블 훈련심볼 구조와 WAVE 시간관계 파라미터를 나타내고 있다. 그림 3을 보면 알 수 있듯이 프리앰블은 동일한 10개의 짧은 훈련심볼과 2개의 긴 훈련심볼로 구성되며, GI2는 64개의 샘플길이를 갖는 T₁ 또는 T₂의 뒷부분에 32개의 샘플길이를 갖는 Cyclic Prefix이다. 또한 WAVE 시간관계 파라미터는 부반송파수는 48, 파일럿 부반송파 수는 4, 전체 부반송파는 52로 부반송파수와 파일럿 부반송파수의 합이다. 표 3과 그림 4는 4개 범주로 분류되는 IEEE 802.11p 스펙트럼 마스크를 표시하였으며, 본 논문은 실제 WAVE 보드를 이용하여 변조방식별 스펙트럼 마스크를 분석하였다.

표 2. WAVE 시간관계 파라미터
Table 2. WAVE Timing-Related Parameters

Parameter	Values for WAVE
N_{SD} : Number of data subcarriers	48
N_{SP} : Number of pilot subcarriers	4
N_{ST} : Number of subcarriers, total	$52(N_{SD} + N_{SP})$
Δ_F : Subcarrier frequency spacing	0.15625 MHz (=10MHz/64)
T_{FFT} : Inverse Fast Fourier Transform(IFFT)/Fast Fourier Transform(FFT)period	$6.4(1/\Delta F)$
$T_{PREAMBLE}$: PLCP preamble duration	$32(T_{SHORT} + T_{LONG})$
T_{SIGNAL} : Duration of the SIGNAL BPSK-OFDM symbol	$8.0(T_{GI} + T_{FFT})$
T_{GI} : GI duration	$1.6(T_{FFT}/4)$
T_{GB} : Training symbol GI duration	$3.29(T_{FFT}/2)$
T_{SYM} : Symbol interval	$8(T_{GI} + T_{FFT})$
T_{SHORT} : Short training sequence duration	$16(10_{FFT}/4)$
T_{LONG} : Long training sequence duration	$16(T_{GB} + 2_{FFT})$

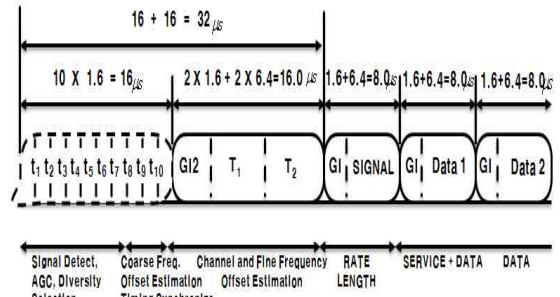


그림 3. IEEE 802.11p 프리앰블 훈련 심볼 구조
Fig 3. IEEE 802.11p Preamble train symbol structure

표 3. IEEE802.11p 스펙트럼 마스크
Table 3. IEEE802.11p Spectrum Mask

Device Class	Reduction in Power Spectral Density, dB				
	±4.5MHz Offset	±5.0MHz Offset	±5.5MHz offset	±10MHz Offset	±15MHz Offset
Class A	0	-10	-20	-28	-40
Class B	0	-16	-20	-28	-40
Class C	0	-26	-32	-40	-50
Class D	0	-35	-45	-55	-65

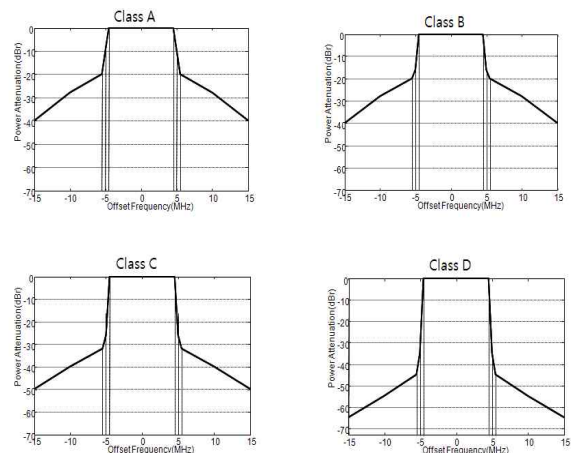


그림 4. IEEE 802.11p 스펙트럼 마스크
Fig 4. IEEE 802.11p Spectrum Mask

III. WAVE 무선 채널 모델링

3-1 무선 채널 모델

이동통신 환경에서의 무선전파는 반사와 산란에 의해 이동체 주변에 많은 반사 및 회절이 나타나며 각 전파 경로들의 신호들은 랜덤진폭과 지연성분을 가지게 되며, 모바일 이동성에 의한 도래각 역시 신호에 영향을 미치므로 고려하여야 하며, 이것 즉 차량의 속도는 도플러 쉬프트에 영향을 미친다.

무선 이동통신 시스템의 성능을 분석하기 위해서는 실제 무선 채널상황에 부합하는 채널 임펄스 응답(Channel Impulse Response : CIR) 모델이 필요하다. 본 장에서는 WAVE 통신시스템인 차량간 통신, 차량과 노변기국간 통신 무선채널에 적합하고, 이동통신 시스템 시뮬레이션 환경에 많이 사용되는 Jakes 페이딩 채널 모델에 대해 살펴본다.

3-2 Jakes 채널 모델

본 논문에서 WAVE 채널 모델은 Jakes 채널 모델을 적용하였으며, 이 모델은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$T_k(t) = \sqrt{\frac{2}{N_0}} \sum_{n=1}^{N_0} [\exp(j\beta_n) \cdot \cos(w_n t + \theta^{(k)_n})]$$

$$\beta_n = \frac{\pi \cdot n}{N_0}, \quad w_n = w_d \cdot \cos(\alpha_n), \quad \alpha_n = \frac{\pi(2n-1)}{4N_0},$$

$$\theta^{(k)_n} = \frac{\pi(n+2k-2)}{N_0+1} \quad (1)$$

여기서 $T_k(t)$ 는 Tap 가중치, β_n 은 Complex 가우시안 랜덤 변수, w_d 는 최대 도플러 쉬프트, α_n 은 도차각을 나타낸다.

WAVE 무선채널은 차량속도와 전파지연, 전파도차각 등의 무선채널 파라미터를 고려하여 Tapped-Delayed Line 모델과 도플러 쉬프트로 정의된다. 이러한 WAVE 채널모델을 표현한 Jakes 6-경로 채널모델 특성을 표 4에 나타내었다.

처음 세 개의 경로는 첫 번째 tap으로 구성되며, 각 경로는 고유 전력(own power), 지연, 도차각도,

도플러 스펙트럼 등을 가지고 있다. 다음에는 변동 스펙트럼을 위한 함수를 보여주고, Jakes 모델(클래식 6dB) 방식의 주파수 스펙트럼 식은 다음과 같다.

$$S_{\delta}(f) = \begin{cases} \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{f-fd}{ff}\right)^2}}, & |f-fd| < 0.999ff \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

라운드 식(rounded one)과 플랫 식(flat one)은 수식 (3), 수식 (4)에 나타낸다.

$$S_{rounded}(f) = \begin{cases} a\sqrt{1 - \left(\frac{f-fd}{ff}\right)^2}, & |f-fd| < 0.999ff \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

$$S_{flat}(f) = \begin{cases} a, & |f-fd| < 0.999ff \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

여기서, ff 는 경로최대 전이 시프트이며, fd 는 그 도플러 오프셋이다.

표 4. 6-경로 채널모델
Table 4. 6-PATH Channel Models

Path No.	Tap No.	Tap Power (dB).K	Tap Power (dB)	Excess Delay (ns)	Path K factor	주파수오프셋 (fd) in Hz
1	1	0.102	-0.0424	0	0	264.6
2	1		-248927	0	0	-75.6
3	1		-21.8927	0	0	-37.8
4	2	-6.5	-6.5	50	7.3	0
5	3	-14.4	-14.4	100	4.7	0
6	4	-17.5	-17.5	150	3.6	0

IV. 채널 환경 및 성능 분석

WAVE통신 무선채널 환경의 주요 파라미터인 차량속도와 관련된 도플러효과, 전파지연, 다중경로 등을 고려한 채널환경을 분석한다. WAVE 채널 분석 파라미터와 분석구성도는 표 5와 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 보듯이 Matlab을 이용하여 WAVE (IEEE 802.11p) 신호를 만들어 신호발생기에 다운로드

드하였으며, 신호발생기를 통하여 채널에몰레이터로 전송하였다. 채널에몰레이터에서 WAVE 무선채널 파라미터를 적용한 신호를 다시 WAVE 신호의 중심 주파수인 5.9GHz로 업 컨버터하기위해 신호발생기를 사용하였다. 이 신호를 국내 F사의 WAVE FPGA 모델과 RF 트랜시버를 이용하여, WAVE 페이딩신호 및 마스크, 성좌도, 에러율 등을 분석하였다.

표 5. 무선채널 파라미터

Table 5. Wireless Channel Parameters

모드	파라미터
통신시스템	IEEE802.11p System
데이터 변조방식	QPSK, 16QAM
전송속도	6Mbps, 12Mbps
중심주파수	5.9GHz
채널모델	Jakes Model(6path)
대역폭	10MHz

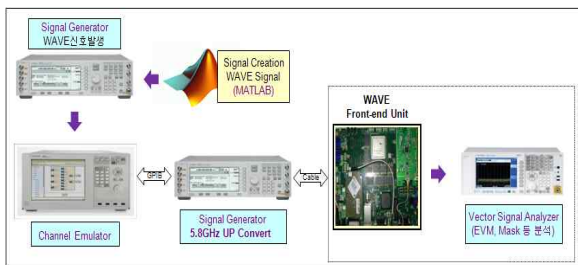


그림 5. 채널 분석 구성도

Fig. 5. Channel Analysis Configure

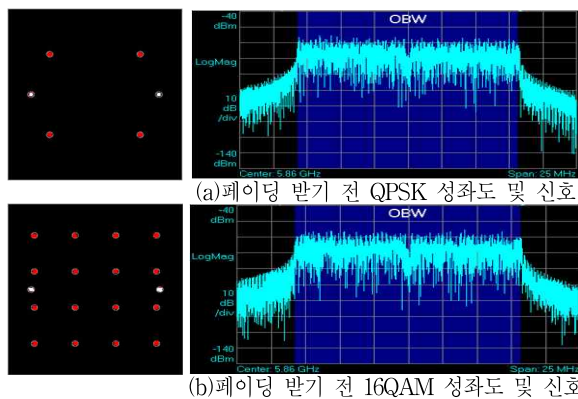


그림 6. 페이딩 영향을 받지 않은 WAVE(IEEE 802.11p)신호(QPSK,16QAM)

Fig 6. Original WAVE Signal(QPSK,16QAM)

그림 6은 페이딩 영향을 받지 않은 QPSK와

16QAM 신호를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 페이딩 영향을 받지 않은 성좌도는 신호의 분포가 정상적이며, 신호 스펙트럼도 왜곡이 없다.

그림 7은 페이딩 영향을 받은 WAVE신호의 QPSK와 16QAM 신호의 성좌도와 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 페이딩 영향을 받은 성좌도는 신호의 분포가 많이 흩어져 있으며, 신호 스펙트럼은 심한 왜곡을 받는다.

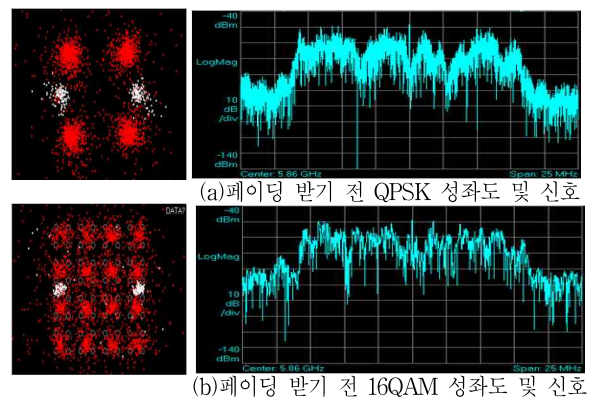


그림 7. 페이딩 영향을 받은 WAVE(IEEE 802.11p)신호(QPSK,16QAM)

Fig 7. WAVE Signal by Fading(QPSK,16QAM)

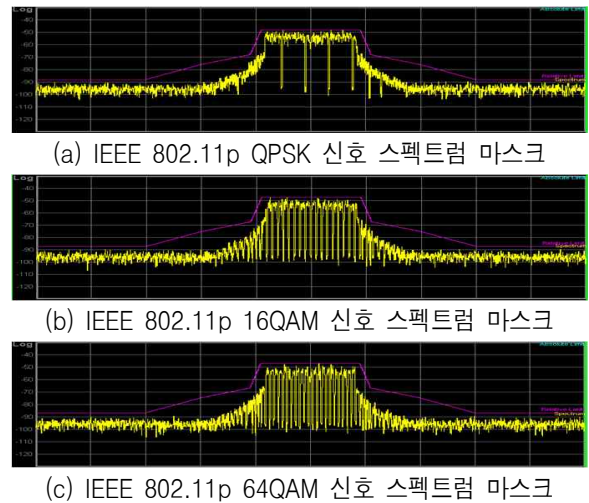


그림 8. IEEE 802.11p 마스크(QPSK, 16QAM, 64QAM)

Fig 8. IEEE 802.11p Mask(QPSK, 16QAM, 64QAM)

그림 8은 WAVE Front-end Unit을 이용하여, 변조방식에 따른 IEEE 802.11p 스펙트럼 마스크를 분

석하였다. WAVE 보드는 국내 F사에서 제조한 모듈을 사용하였으며, 만들어진 IEEE 802.11p 변조신호 QPSK, 16QAM, 64QAM는 스펙트럼 마스크는 규격에 제시된 마스크를 만족한다.

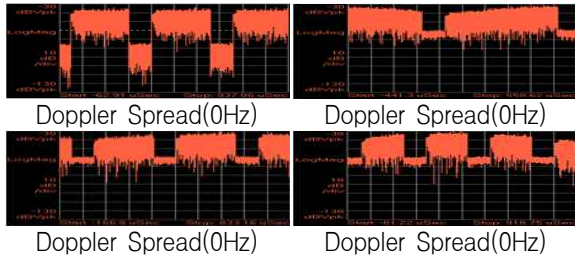


그림 9. Doppler Spread 영향에 따른 WAVE(16QAM)신호 변화

Fig 9. WAVE Signal Changed by Doppler Spread

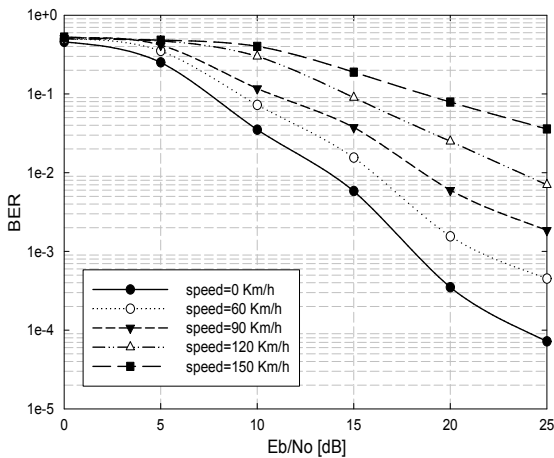


그림 10. IEEE 802.11p/16QAM 시스템에서 차량속도 변화에 따른 비트오율

Fig 10. BER of Vehicle Speed Changed in IEEE 802.11p/16QAM System

그림 9는 Doppler Spread 효과에 따른 신호의 변화를 살펴본 결과, WAVE 채널은 도플러효과에 아주 민감함을 알 수 있다. 향후 이에 대한 경감기법 적용이 필요하다.

그림 10은 IEEE 802.11p/16QAM 시스템에서 차량속도 변화에 따른 BER 성능을 나타낸 그림이다. 차량속도가 증가할수록, 즉 도플러 효과가 크게 나타날수록 BER 성능이 열화 됨을 알 수 있다. 음성 통화기준인 BER 1e-3을 만족하기 위해서는 최소

E_b/N_0 가 25dB이상 됨을 보이고 있고 향후 차량 멀티미디어 서비스를 위해서는 이에 대한 경감기법 채택을 해야 할 것이다.

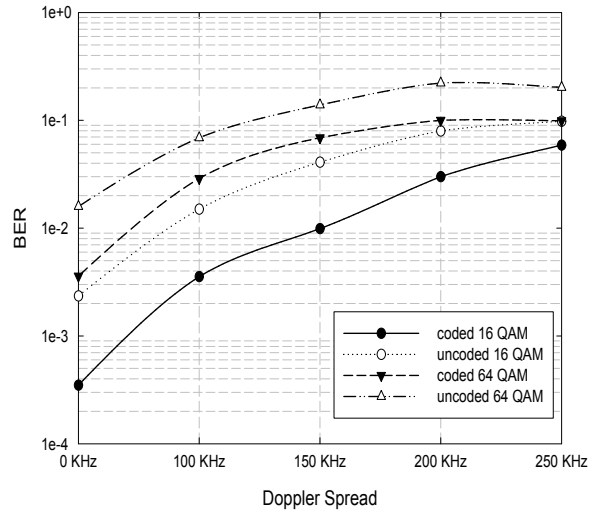


그림 11. IEEE 802.11p 시스템에서 $E_b/N_0=20$ dB에서 도플러 효과에 따른 16QAM, 64QAM방식의 비트오율

Fig 11. 16QAM, 64QAM BER of Doppler Spread Effect in IEEE 802.11p System $E_b/N_0=20$ dB

또한 그림 11은 IEEE 802.11p/16QAM 시스템에서 도플러효과에 따른 변조방식에 따른 BER 성능을 나타낸 그림이다. 변조방식으로는 16QAM과 64QAM을 Coded/Uncoded 채널로 나누어 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 Coded 16QAM이 가장 좋은 성능을 나타내었으며, 도플러 효과가 커질수록 성능의 차이가 점점 없어짐을 보인다. 또한 Uncoded 16QAM과 Coded 64QAM의 성능이 비슷하게 나타난다..

V. 결 론

본 논문에서는 고속의 무선 채널 환경에 적합한 Jakes 모델을 적용하여 5.9GHz WAVE 무선 채널을 모델링하고, IEEE 802.11p 스펙트럼마스크, 도플러 효과, 변조방식에 따른 페이딩 신호 성좌도 및 스펙트럼을 제시하였다. 또한 차량속도 즉 도플러 효과

에 따른 WAVE 통신시스템에 성능분석을 하였으며, 도플러효과가 커질수록 성능 열화가 심하게 됨을 알 수 있으며, 향후 차량 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 향후 정확한 채널추정기법, 도플러효과, 다중경로페이딩에 대한 대책이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 광재민, "IEEE802.11p 기반의 OFDM-DSRC통신을 위한 임베디드 시스템 구현", *한국해양정보통신학회 논문지*, 제10권 제11호, 2006.
- [2] S. V. Saliga, "An introduction to IEEE 802.11 wireless LANs," *RFIC Symposium 2000*, pp. 11-14, June, 2000.
- [3] IEEE 802.11a, Part11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification: High speed physical layer in the 5 GHz band, 1999.
- [4] J. Li, G. Liu, and G.B Giannakis, "Carrier frequency offset estimation for OFDM-based WLANs," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 8, pp. 80-82, Mar. 2001.
- [5] "IEEE P802.11p/D3.0, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)," July 2007

오 세 갑 (吳世甲)



1999년 8월 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학석사)
1999년 8월~2001년 3월 (주)세영통신 전파기술연구소 연구원
2001년 3월~2006년 5월 (주)벨웨이브 통신연구소 책임연구원
2006년 5월~현재 대전테크노파크

고주파센터 대리

2007년 3월~현재 목원대학교 대학원 IT공학과 박사과정
관심분야 : 무선멀티미디어통신, 무선이동통신, IT기반 융합기술 등

최 재 명 (崔載明)



2007년 목원대학교 컴퓨터공학과 공학사
2009년 2월 목원대학교 대학원 IT공학과 공학석사
2009년 3월~현재 목원대학교 대학원 IT공학과 박사과정
관심분야 : 멀티미디어통신, 유비

쿼터스, 무선통신시스템, WBAN 등

강 희 조 (姜熙照)



1994년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)
1996년~1997년 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
1990년~2003년 2월 동신대학교 전자정보통신공학부 교수

2003년~현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수

2009년 1월~현재 한국항해학회 부회장

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 무선이동통신, 가시광통신, 모바일 컴퓨터, 환경전자공학, RFID, 인지적무선통신, 기술정책 등