

LMMSE 등화기법을 적용한 OFDM-DSRC 시스템의 성능분석

성태경* · 김순영** · 이명수*** · 조형래****

*한국해양대학교 대학원, **한국수력원자력(주), ***한국통신, ****한국해양대학교 전자·정보통신공학부 부교수

Performance Analysis of OFDM-DSRC System Using LMMSE Equalization Technique

Tae-Kyung Sung* · Soon-Young Kim** · Myung-Soo Rhee*** · Hyung-Rae Cho****

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Korea Hydro & Nuclear Power Company, Pusan 619-950, Korea

***Korea Telecommunication, Pusan, Korea

****Division of Radio & Information Communication Eng., National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 무선 다중경로 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우, 신호는 페이딩, 심볼간 간섭 등의 영향으로 높은 에러율을 갖게 된다. 그러므로 현재 개발된 DSRC(dedicated short-range communication) 시스템의 변복조 방식은 1 Mbps이상의 데이터 서비스가 어려울 것으로 예상되므로 새로운 채널등화 기법 및 개선된 변복조 방식이 요구된다. OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식은 보호간격의 삽입을 통하여 ISI를 방지할 수 있으므로 고속 데이터 전송에 적합하다. 그러나, 보호기간이 OFDM방식에서의 각각의 심볼주기에 사용되는 채널 지연 확산보다 길어지므로 채널활용의 효율성에서 상당한 손실이 야기된다. 그러므로 등화기를 고속의 데이터 전송율과 긴 채널 지연확산 조건을 가지는 ITS(intelligent transport system)에 적용하기 위해서는 ISI(inter symbol interference)를 제거할 필요가 있다. 본 논문에서는 OFDM-DSRC 시스템을 위한 채널 등화기를 설계하였으며, 다중경로 페이딩 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하였다.

핵심용어 : DSRC 시스템, OFDM방식, 지능형교통시스템, LMMSE 채널등화, 채널등화기

Abstract : The signal in wireless multi-path channel is affected by fading and ISI because of high data rate transmission, so the signal has the high error rate. The present modulation and demodulation method of DSRC system can not expect sufficient for providing data service over 1 Mbps, so the channel equalization and advanced modulation and demodulation methods are required. OFDM is generally known as an effective technique for high data rate transmission system, since it can prevent ISI by inserting a guard interval. However, a guard interval longer than channel delay spread has to be used in each OFDM symbol period, thus resulting a considerable loss in the efficiency of channel utilization. Therefore the equalizer is necessary to cancel ISI to accommodate advanced ITS service with higher bit rate and longer channel delay spread condition. In this paper, the channel equalizer for the OFDM-DSRC system was designed and its performance in a multi-path fading environment was evaluated with computer simulation.

Key words : DSRC System, OFDM, ITS, LMMSE channel Equalization, Channel Equalizer

1. 서 론

ITS의 도입에 따라 새로운 개념의 통신 수단으로 등장하게 된 것이 단거리 무선 통신(DSRC)이다. 기존 DSRC 시스템과 차세대 DSRC 시스템의 채널 환경과의 가장 큰 차이는 데이터 전송속도의 증가로 인하여 무선 다중경로 채널에서 ISI가 발생하여 주파수 선택성 페이딩 채널 환경이 되는 것이다. 무선 다중경로 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우 신호는 페이딩, 심볼간 간섭, 주파수 재사용, 다중경로 등의 영향으로 인하여 높은 에러율을 갖게 된다. 그러므로 현재 개발된 1 Mbps급 DSRC 시스템의 변복조 방식으로는 충분한 성능을 기대할 수 없으며, ISI를 제거하기 위한 채널 등화와 개선된

변복조 방식이 필요하게 된다(한국해양학회, 2001). 최근 무선 채널에서 10Mbps 이상인 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 OFDM 방식이 활발하게 연구되고 있는데, 이는 스펙트럼 효율이 좋은 다중반송파 전송 방식으로써 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 부채널(sub-carrier)로 나누어 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식이다. 다중경로 페이딩을 갖는 무선통신 채널에서 심볼 주기가 짧은 고속 데이터 전송시 단일 반송파 방식을 사용하게 되면 심볼간 간섭이 더욱 심해지기 때문에 수신단의 복잡도가 크게 증가하는 반면, 다중 반송파 방식의 경우에는 데이터 전송속도를 그대로 유지하면서 각 부반송파에서의 심볼 주기를 부반송파의 수만큼 확장시킬 수 있기 때문에 다중 경로 지연 확산에 의해 발생하는 시간상에

* 대표저자 : 성태경(정회원), tksung@bada.hhu.ac.kr 051)410-4421

** 정회원, seek1120@bada.hhu.ac.kr

*** tksung@bada.hhu.ac.kr

**** 정회원, hrcho@hhu.ac.kr

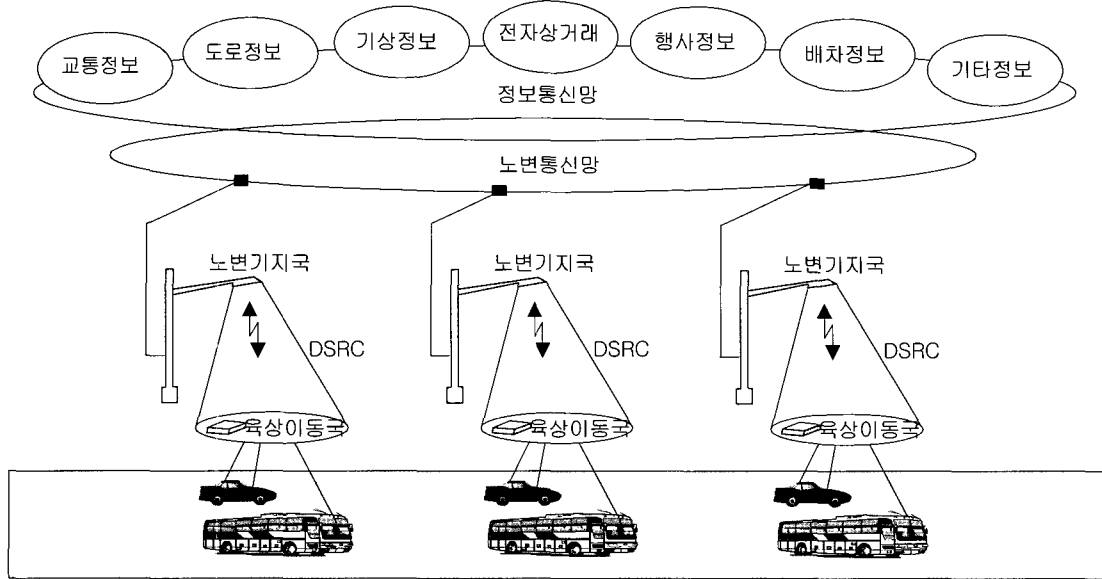


Fig. 1 Block diagram of DSRC system

서의 상대적인 신호 분산이 감소한다. 또한 모든 OFDM 심볼 사이에 채널의 지연 확산보다 긴 보호구간을 삽입하여 심볼간 간섭을 제거 할 수 있다(Kim, Song, Kim, Chang and Kim, 1999)(L. J. Cimini, Jr., 1985). 그러나 대역폭 등의 문제로 일반적으로 보호구간은 심볼 주기의 1/4정도로 설정하며, 따라서 다중경로의 채널 지연이 보다 심각해질 경우, 보호구간만으로는 심볼간 간섭을 모두 제거할 수 없다. 이러한 경우 채널에서의 전송 시간 지연에 의한 왜곡은 등화기를 사용하여 보상해 주어야 하며, 특히 데이터 전송 속도가 고속이 될수록 등화기의 사용이 절대적으로 필요하게 된다.

2. DSRC 시스템

2.1 DSRC 시스템 개요

ITS의 기본 개념은 교통, 전자, 통신, 제어 등 첨단 기술을 활용하여 실시간 교통 정보를 수집, 관리 제공하여 기존 교통 시설의 이용 효율을 극대화하고 막대한 물류비용이 손실되는

복잡한 교통 문제의 해결을 목적으로 하고 있다. DSRC 시스템은 ITS 서비스를 도로상에서 운행 중인 차량에 제공하기 위한 ITS 전용 단거리 무선 패킷 통신 시스템이다(R. Kohno, 2000).

Fig. 1은 DSRC 시스템의 개념도를 보인 것으로, DSRC 시스템은 도로변에 위치한 소형기지국(RSE)과 차량 내에 탑재된 차량 탑재장치(OBE)간의 단거리 전용통신방식으로, 시스템 방식으로는 수동형/능동형 및 Beacon 방식이 있다. Table 1에는 DSRC 각 방식별 시스템을 비교하였다(권, 2001).

2.2. DSRC 시스템 모델

2.2.1 Channel Model

이동 무선 채널은 무선통신 시스템의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 실제적인 무선 채널의 모델링은 무선시스템 설계에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 통신 채널 특성에 따라 통신시스템에서 고려되어야 할 세부 요구 사항이 결정되

Table 1 Comparison by each DSRC system mode

Sort	Passive DSRC	Active DSRC	Beacon
Frequency Band	5.8GHz	5.8GHz	200MHz
Cell size	10m	100m<	500m<
Bandwidth	5MHz	10MHz	-
Modulation	down link : ASK, up link : DPSK	ASK	FSK
Transmission Velocity	down link : 500Kbps up link : 250Kbps	1Mbps	9.6Kbps
Multiple Access	Point to point	Point to multipoint	Point to point
Protocol	HDLC	Slotted ALOHA	HDLC

Table 2 Normalized parameter by each ray

Sort	2nd-ray/LOS	3rd-ray/LOS	4th-ray/LOS	5th-ray/LOS	6th-ray/LOS
10 m	0.222	0.046	0.06	0.0033	0.0013
30 m	0.329	0.108	0.113	0.011	0.00741
50 m	0.339	0.117	0.121	0.014	0.011
70 m	0.343	0.112	0.124	0.015	0.013
100 m	0.346	0.1247	0.125	0.0155	0.0144

며, 가격과 성능, 기능의 설계가 가능해 진다. 무선통신 채널 특성 중 특히 거리에 따른 전파의 전파 감쇠와 다중경로 특성이 중요하다. 따라서 무선채널 환경분석이 무선채널의 효과적인 사용을 위하여 선행되어야 한다. 본 논문에서 고려한 DSRC 시스템의 채널환경은 다양한 교통정보와 멀티미디어 서비스 등을 제공하기 위한 데이터 전송속도의 증가로 인하여 무선 다중경로 채널에서 ISI가 발생할 수 있는 주파수 선택성 페이딩 채널을 가정하였다. 현재 무선채널의 환경 분석시 2-ray 라이시안 모델을 주로 사용하지만, 실제 도심환경에서는 빌딩 또는 이동체 장애물이 존재하므로 다중경로 성분들이 발생하게 된다. 그러므로 수신측에서는 많은 다중경로 성분들을 모두 수신하게 된다. 다음의 Table 2는 RSE와 OBE간의 거리에 따른 ray-tracing 기법을 통해 얻은 각 ray 별 진폭 특성을 각 지점에서의 LOS(line of sight) 성분으로 정규화 시킨 값이다(한국항해학회, 2001). 6-ray 성분은 2-ray 성분 외에 빌딩의 벽에서 반사된 성분 및 빌딩 벽에서 또 다른 빌딩 벽으로 이중 반사된 성분을 모두 수신하다고 가정한 것이다. Fig. 2는 본 논문에서 고려한 Multi-ray 채널모델을 보인다. 식 (1)은 LOS와 독립적인 L개의 레일리 페이딩의 합으로 이루어지는 다중경로 페이딩 채널에 대한 임펄스 응답을 나타낸 것이다(U. Madhow and M. Hong, 1994).

$$h(t, \tau) = \sqrt{2P_s} \delta(t) + \sum_{l=1}^L \sqrt{P_l} h_l(t) \delta(\tau - \tau_l) \quad (1)$$

$\delta(t)$: Dirac Delta 함수

$h_l(t)$: 레일레이 분포를 가지는 l번째 다중경로 채널의 임펄스 응답

P_s : LOS 신호 성분의 전력

P_l : l번째 다중 경로 성분의 전력

τ_l : l번째 다중 경로 성분의 지연 시간

다중 경로로 수신된 신호의 총전력을 P_d 라 하면, LOS 신호의 전력과 반사되어 들어오는 신호 전력의 비로 나타내는 라이시안 인자(rician factor) K 는 다음 식 (2)와 같다(U. Madhow and M. Hong, 1994).

$$K = \frac{P_s}{P_d} \quad (2)$$

여기서, 수신된 신호의 총 전력 P_d 는 식 (3)이 된다.

$$P_d = \sum_{l=1}^L P_l \quad (3)$$

무선통신 시스템에서는 서로 다른 다중경로 채널을 비교하기 위하여 다중경로 채널을 정규화하기 위한 파라미터를 사용하는데, 평균 초과지연과 rms 지연 확산은 전력 지연 프로파일(power delay profile)로부터 결정지어질 수 있는 다중경로 채널 파라미터이다. 평균 초과 지연은 전력 지연 프로파일의 1차 모멘트로서 식 (4)와 같이 정의되며,

$$\bar{\tau} = \sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} \tau_l \quad (4)$$

rms 지연 확산은 전력 지연 프로파일의 2차 모멘트의 제곱근으로써 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\sum_{l=1}^L \frac{P_l}{P_d} (\tau_l - \bar{\tau})^2} \quad (5)$$

l번째 다중 경로 성분의 지연 시간 $\tau_l = l\Delta\tau$ 일 경우, 즉 l번째 경로에 대해 정수배 만큼의 지연을 가진다고 가정할 경우, rms 지연 확산이 ARIB의 측정치인 150 ns 일 때의 $\Delta\tau$ 는 식 (5)에 의하여 Table 3과 같이 된다.

Table 3 Delay time by each distance

Between RSE and OBE distance	10m	20m	50m	70m	100m
$\Delta\tau$ [ns]	287	235	227	224	223

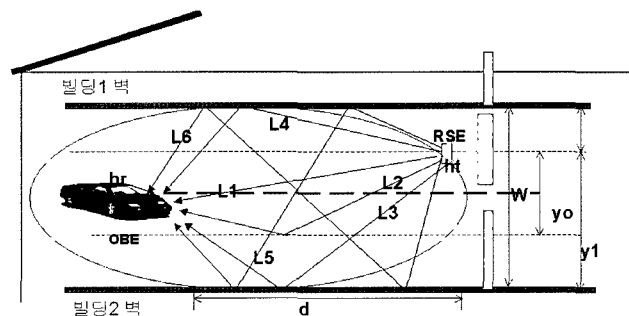


Fig. 2 Communication channel model of DSRC system

본 논문에서는 ray-tracing 기법을 통해 얻은 6-ray 다중경로 채널 모델을 사용한다. Fig. 3은 본 논문에서 사용한 다중경로 페이딩 채널 모델을 나타낸다. 레일리 블록의 출력은 정규화 된 파라미터의 진폭을 가지고 발생하며, 결과적으로 각 반사파 성분은 레일리 분포를 가진다. 경로 지연은, l 번째 채널에 대해서 l 배만큼의 지연을 가지며, rms 지연 확산은 ARIB의 측정치인 150 ns 이다.

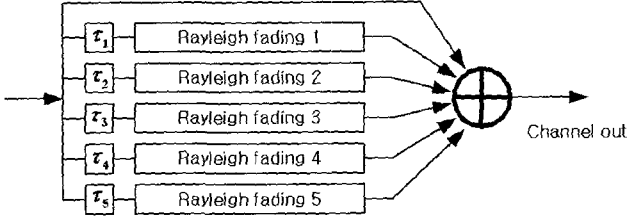


Fig. 3 Multi-path fading channel model

2.2.2 Equalization Technique

IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 표준안에 따르면 두 개의 긴 훈련 신호를 이용하여 채널에 의한 열화를 LS(least square) 방식에 따라 보상하여야 한다. 그러나 시스템의 성능 향상을 얻기 위하여 추정치 에러 자승의 평균을 작게 하는 LMMSE(linear minimum mean square error) 방법을 사용할 수 있다. LS 방법이 실제 채널과 다음과 같은 직교 성질을 만족한다고 가정하면 추정 채널과 실제 채널 오차의 기대값이 '0'이므로 다음 식 (6)과 같이 쓸 수 있다(U. Madhow and M. Hong, 1994)(Vucetic, 1994)(S.L. Miller(1995).

$$E\{(\mathbf{H} - \mathbf{K} \widehat{\mathbf{H}}_k) \widehat{\mathbf{H}}_k^T\} = 0 \tag{6}$$

\mathbf{H} 는 실제 채널이고 $\widehat{\mathbf{H}}_k$ 는 LS 방법으로 추정된 채널이며 \mathbf{T} 는 Hermitian Transpose이다. 식 (6)을 다시 쓰면 기대값은 상관 함수로 표시할 수 있으므로 다음 식 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k} - \mathbf{K} \mathbf{R}_{\widehat{\mathbf{H}}_k \widehat{\mathbf{H}}_k} = 0 \tag{7}$$

즉, 오차를 작게 하는 계수 \mathbf{K} 는 다음 식 (8)과 같다.

$$\mathbf{K} = \mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k} \mathbf{R}_{\widehat{\mathbf{H}}_k \widehat{\mathbf{H}}_k}^{-1} \tag{8}$$

LS 방법으로 추정된 채널에 실제 채널과의 오차를 작게 하는 계수 \mathbf{K} 를 곱하면 LMMSE 추정 채널은 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\widehat{\mathbf{H}}_{lmmse} = \mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k} \mathbf{R}_{\widehat{\mathbf{H}}_k \widehat{\mathbf{H}}_k}^{-1} \widehat{\mathbf{H}}_{ls} \tag{9}$$

$\widehat{\mathbf{H}}_{lmmse}$ 는 LMMSE 방식으로 추정된 채널이고 $\mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k}$ 은 \mathbf{H} 와 $\widehat{\mathbf{H}}_k$ 의 상호상관 함수로 다음 식 (10)과 같이 정의된다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k} = E\{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k^T\} \tag{10}$$

여기서, $\mathbf{R}_{\widehat{\mathbf{H}}_k \widehat{\mathbf{H}}_k}$ 은 $\widehat{\mathbf{H}}_k$ 의 자기상관함수이며, 사용하는 주파수 대역에서 신호가 동일한 전력을 가진다고 가정하면 다음 식 (11)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\widehat{\mathbf{H}}_k \widehat{\mathbf{H}}_k} = \mathbf{R}_{\mathbf{H} \mathbf{H}} + \frac{1}{\text{SNR}} \mathbf{I} \tag{11}$$

SNR은 신호 대 잡음비이고 \mathbf{I} 는 단위행렬이다. 따라서 식 (9)을 다시 쓰면 식 (12)와 같다.

$$\widehat{\mathbf{H}}_{lmmse} = \mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k} \left(\mathbf{R}_{\mathbf{H} \mathbf{H}} + \frac{1}{\text{SNR}} \mathbf{I} \right)^{-1} \widehat{\mathbf{H}}_{ls} \tag{12}$$

식 (12)의 $\mathbf{R}_{\mathbf{H} \widehat{\mathbf{H}}_k}$ 와 $\mathbf{R}_{\mathbf{H} \mathbf{H}}$ 는 각 부반송파의 주파수 상관 함수로 다음 식 (13) 및 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H}_k \widehat{\mathbf{H}}_{k'}} = E\{\mathbf{H}_k \widehat{\mathbf{H}}_{k'}^T\} = r(k - k') \tag{13}$$

$$\mathbf{R}_{\mathbf{H}_k \mathbf{H}_{k'}} = E\{\mathbf{H}_k \mathbf{H}_{k'}^T\} = r(k - k') \tag{14}$$

k 와 k' 은 각각 k 번째, k' 번째 부반송파를 의미하고, $r(\cdot)$ 는 주파수 상관함수이다. 상대적으로 적은 수의 긴 훈련 신호의 기대값을 얻는 것이 용이하지 않기 때문에 신호의 크기가 지수 함수적으로 감쇠하는 다중경로 채널에서 신호의 주파수 응답으로부터 주파수 상관 함수는 다음 식 (15)와 같이 얻을 수 있다(U. Madhow and M. Hong, 1994).

$$r(k - k') = \frac{1}{1 + j2\pi\tau_{rms}(k - k')/T_{FFT}} \tag{15}$$

$1/T_{FFT}$ 는 부반송파 이격 간격으로 T_{FFT} 는 3.2 μ s를 이용한다. 이와 같이 주파수 상관 함수를 식 (15)와 같이 유도하고 식 (12)에 적용하여 Pseudo LMMSE 방법으로 채널의 열화를 보상할 수 있지만 실제 채널의 rms 지연 확산 τ_{rms} 는 수신단에서 정확한 값을 알 수 없기 때문에 LS 방식을 이용하여 추정된 채널 $\widehat{\mathbf{H}}_k$ 를 역이산 푸리에 변환하여 채널의 임펄스 응답을 추정하여 지연 확산 시간을 다음 식 (16)과 식 (17)로 얻어낸다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\overline{\tau_l^2} - \overline{\tau}^2} \tag{16}$$

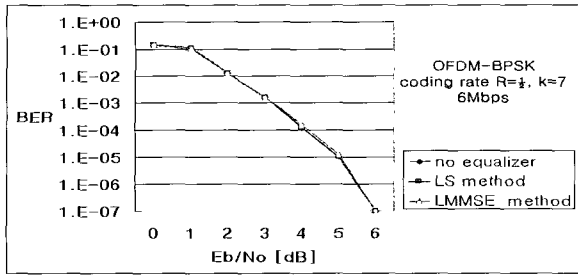
$$\overline{\tau^n} = \frac{\sum_l \tau_l^n \beta_l^2}{\sum_l \beta_l^2} \quad : \quad n = 1, 2 \tag{17}$$

β_l 와 τ_l 는 l 번째 경로로 들어오는 신호 크기와 전송 지연 시간이다. 위에서 보인 Psuedo LMMSE 방식을 이용하면 식 (12)와 같이 많은 복소 계산량이 필요한 추정 방법을 LS 방식으로부터 rms 지연 확산 시간을 구해냄으로써 손쉽게 유도할 수 있고 LS 방식 보다 우수한 성능을 얻어낼 수 있다.

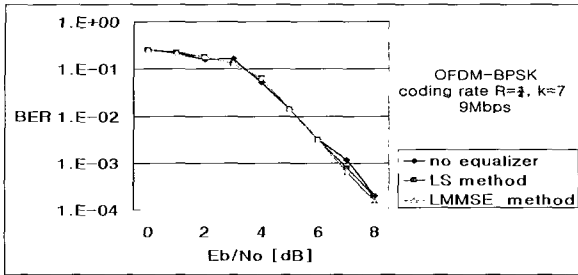
3. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서는 DSRC 시스템의 성능을 분석하기 위하여 앞서 제시한 6-ray 다중 경로 채널 모델을 사용하고 국제 표준화 규격인 IEEE 802.11a에 근거하여 시뮬레이션을 하였다. 주파수는 2001년 4월 정보통신부고시 제2001-21호로 지능형 교통시스템과 관련하여 DSRC용으로 분배된 5.8 GHz대역을 사용하였다. Table 4는 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타내고 있으며, 시뮬레이션은 HP-ADS(advanced design simulator)로 구현하였다.

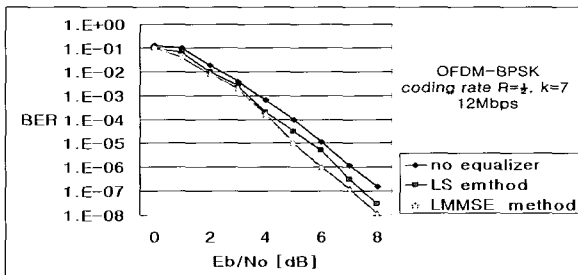
Fig. 4(a)와 (b)는 6-ray 다중 경로 채널 환경에서 전송 속도가 각각 6 Mbps/9 Mbps 일 때의 비트오율(BER)을 분석한 것이다. 이 두 가지 경우에는 등화기 적용 여부에 대한 성능의 변화는 없는데, 이것은 OFDM 심볼 전송 시 삽입한 1/4 보호구간에 의해 ISI가 거의 제거되었기 때문이며, 또한 채널의 지연 시간보다 심볼의 주기가 길기 때문에 채널에 대한 영향은 거의 받지 않았기 때문이다.



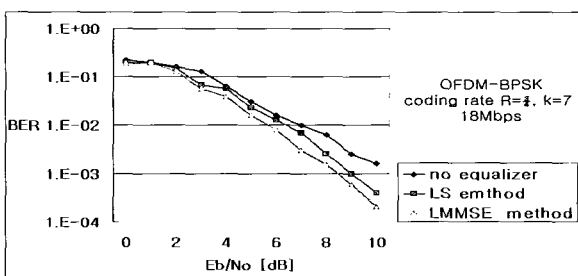
(a) 6 Mbps-DSRC system



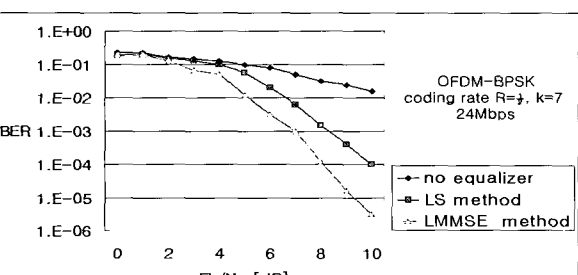
(b) 9 Mbps-DSRC system



(c) 12 Mbps-DSRC system



(d) 18 Mbps-DSRC system



(e) 24 Mbps-DSRC system.

Fig. 4 BER characteristics of DSRC system by data rate

Table 4 Simulation parameter of DSRC system

Modulation	OFDM-QPSK
Carrier Frequency	5.8 GHz
Data rate	6 Mbps, 9 Mbps, 12 Mbps, 18 Mbps, 24 Mbps
Sub-carrier number	52(4, 48)
Bandwidth	16.6 MHz
Rate, K	R=1/2, K=7
Channel environment	6-ray multi-path channel between RSE & OBE distance : 100 m rms delay spread : 150 ns
Equalizer architecture	LS mode equalizer Pseudo LMMSE mode equalizer

Fig. 4(c), (d) 및 (e)는 각각 12 Mbps/18 Mbps/24 Mbps에서 등화기를 적용하였을 때의 성능을 보이고 있다.

동일 채널 환경에서 데이터의 전송속도가 빨라질수록 ISI의 영향이 심각해지며, 24 Mbps 급의 경우는 등화기를 적용하지 않을 경우는 10^{-3} 의 BER도 얻기 힘들다.

시뮬레이션을 통해 전송속도 6 Mbps와 9 Mbps는 등화기에 의한 성능 향상이 없음을 알 수 있으며, LS 방식과 Pseudo LMMSE 방식을 적용한 경우 고속 무선 LAN 시스템에서 E_b/N_0 값이 증가할수록 Pseudo LMMSE 방식이 LS 방식보다 성능이 우수해짐을 알 수 있다.

또한, 기존의 2-ray 방식과 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서는 Fig. 4(d)와 동일한 조건에서 2-ray와 6-ray에서 LMMSE 등화기법을 적용한 경우를 비교하였으며, 이때 6-ray의 성능이 보다 우수함을 알 수 있다.

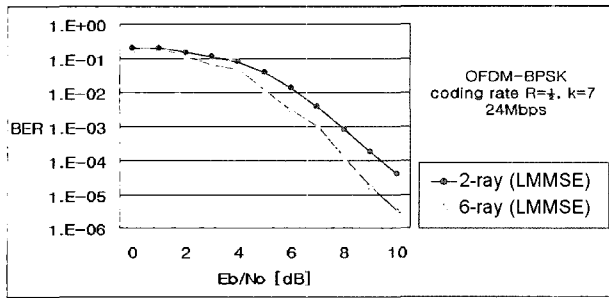


Fig. 5 Comparison of BER characteristics according to 2/6-ray

4. 결론

본 논문에서는 6-ray의 ISI가 발생하는 주파수 선택성 페이딩 채널인 DSRC 환경에서 OFDM-DSRC 시스템을 설계하고, Pseudo LMMSE 등화기법을 사용, 시뮬레이션을 통해 LS 등화기법을 사용한 시스템과 그 성능을 비교·분석하였다. 기존의 논문들이 2-ray 채널 환경에서 OFDM 시스템의 성능을 분석하고 등화기를 적용한 것에 반하여, 본 논문에서는 실제 도심환경에서 빌딩이나 이동하는 장애물이 존재하기 때문에 발생하게 되는 많은 다중 경로 성분들을 고려하여 채널 모델을 설정하였다. 무선 다중경로 채널 환경은 서로 독립적인 레일리 페이딩 채널의 합으로 이루어진다고 가정하였으며, OFDM 시스템의 복조시 반송파 주파수와 타이밍에 있어서 동기가 정확하다고 가정하였다.

DSRC 채널은 RSE와 OBE간 거리가 100 m 이하의 근거리 통신을 위주로 하기 때문에 항상 LOS가 존재하는 라이시안 채널이고 전송속도가 클수록 주파수 선택성 페이딩 채널이 된다. 이러한 채널 환경을 극복하기 위하여 OFDM 방식을 사용하였다. OFDM 변조 방식은 보호구간을 사용하여 채널의 ISI를 제거하므로 일반적으로 등화기가 필요 없으나, 차세대 DSRC 채널은, 데이터의 전송속도가 6 Mbps~24 Mbps로 고속이고, 또한 rms 지연 확산이 150 ns인 경우, 보호구간만으로는 ISI를 완전히 제거할 수 없다. 따라서 성능 개선을 위한 다른 방법으로 채널 코딩을 하거나 또는 등화기를 사용한다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 6Mbps/9Mbps의 경우, 등화기에 의한 성능 향상은 거의 없었으며, 12 Mbps/18 Mbps의 경우도 코딩으로 ISI를 제거함으로써 등화기의 필요성이 비교적 적었다. 그러나 24 Mbps의 OFDM-16QAM의 경우는 코딩을 1/2을 사용하였음에도 불구하고 만족할만한 성능을 얻지 못하는 데 이 경우 등화기를 사용하면 월등한 성능의 개선 효과를 얻을 수 있었으며, 특히, 802.11a에서 규정하고 있는 LS 기법의 등화기보다 Pseudo LMMSE 기법의 등화 기법을 적용하였을 경우 성능이 더욱 향상됨을 알 수 있었다.

E_b/N_0 가 4 dB일 때, 12 Mbps/18 Mbps/24 Mbps의 시스템에서 LS 등화기법에 비하여 Pseudo LMMSE 등화기법의 성능이 각각 1 dB/1.5 dB/3 dB 개선되었으며, E_b/N_0 가 8 dB일 때 3 dB/3.5 dB/10 dB의 성능이 향상되어, 고속 무선 LAN 시스템에서 E_b/N_0 값이 증가할수록 Pseudo LMMSE 방식이 LS 방식보다 성능이 우수해짐을 알 수 있었다. 추가적으로 보다 채널 환경이 열악한 경우, 즉 rms 지연확산이 보다 큰 경우에 등화기에 대한 성능의 개선 효과가 고속 전송의 경우 상당히 향상될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 권수갑(2001), "정보통신기술", 신화전산기획, pp. 4~22~26.
- [2] 한국향해학회(2001), "10 Mbps 패킷 데이터 전송을 위한 무선채널 환경 연구," 최종 연구보고서.
- [3] Y.H. Kim, I. Song, H.G. Kim, T.J. Chang and H.M. Kim(1999), "Performance Analysis of a Coded OFDM system in Time varying Multipath Rayleigh Fading Channels," *IEEE Transactions on vehicular technology*, Vol. 48, No5, pp.1610-1615.
- [4] L. J. Cimini, Jr.(1985), "Analysis and Simulation of a Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing," *IEEE Trans. Communications*, Vol. COM-33, No. 7, pp.665-675
- [5] R. Kohno(2000), "ITS and Mobile Multi-Media Communication in Japan," Proc. of Telecomm. Tech. Workshop for ITS
- [6] U. Madhow and M. Hong(1994), "MMSE interference suppression for direct-sequence spread-spectrum CDMA," *IEEE Trans. Communications*, Vol.42, pp.3178-3188, December.
- [7] Vucetic(1994), "Adaptive receiver structures for asynchronous CDMA systems," *IEEE J. Select. Areas Communications*, Vol. 12, pp.685-697.
- [8] S.L. Miller(1995), "An adaptive direct-sequence code-division multiple-access receiver for multiuser interference rejection," *IEEE Trans. Communications*, Vol.43, pp.1746-1755.

원고접수일 : 2004년 7월 16일

원고채택일 : 2004년 12월 20일