

# OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템의 채널 및 등화기법에 따른 성능분석에 관한 연구

정회원 류은숙\*, 이종길\*\*

## A study on performance analysis for OFDM wireless LAN systems according to channel and equalizer characteristics

Eun-suk Ryu\*, Jong Gil Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a 표준안으로 확정된 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 적용한 고속 무선 LAN의 최적 시스템을 설계하기 위하여 실내 채널 특성들을 분석하였다. 통계적 채널 모델링 및 JTC(Joint Technical Committee) 모델에서의 실내 및 실외 환경을 선택하여 채널에 따른 고속 무선 LAN 시스템을 모의 실험하였다. 또한 채널에 의한 열화를 보상하기 위하여 무선 LAN 표준안에 따른 긴 훈련 신호를 이용한 채널 등화기법인 LS(Least Square) 방식과 LMMSE(Linear Minimum Mean Square Error) 방식을 비교 분석하였다. LS 기법과 본 논문에서 제시한 LS 방식으로 채널의 지연 확산 rms(root mean square) 값을 추정된 후 LMMSE 기법을 사용한 경우의 차이점을 고찰하였다. 이러한 LMMSE 기법을 채택할 경우 LS 기법에 비해 실외 환경과 같은 열악한 채널환경하에서도 시스템 성능에 상당한 개선효과가 나타남을 확인할 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, the multipath channel models are investigated for the performance analysis of OFDM wireless LAN systems. The wireless LAN system is simulated satisfying the IEEE standard. Using the simulated system, the system performances are analyzed and compared using various statistical indoor channel models and JTC models. In the OFDM wireless LAN, The LS and LMMSE algorithms are compared and analyzed in this paper for the channel equalization using the various simulated wireless LAN channels. Comparing with the LS method, the simulation results show that the system performance can be improved using the LMMSE method even in the worse channel environment such as outdoor models.

### 1. 서론

OFDM 변조방식은 직렬로 입력되는 데이터 열을 N개의 병렬 데이터 열로 변환하여 주파수가 서로 다른 반송파에 실어 전송하는 방식이다. 이때 각각의 반송파는 직교성이 유지되어야 하고 이러한 직교성으로 인하여 각 반송파는 스펙트럼 상에서 중첩되어질 수 있으므로 스펙트럼 효율이 높다. 따

라서 이 방식은 하나의 반송파를 사용하여 데이터를 순차적으로 전송하는 경우보다 전송률을 높일 수 있다. 즉, 전송 심볼간의 간격이 길어져 채널에 의한 전송 지연 시간 영향을 덜 받게 되므로 연속되는 심볼간의 간섭을 줄일 수 있으며 임펄스성 잡음과 다중 경로 페이딩에 강한 장점이 있다. 또한 송·수신 시스템을 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용

\* 이스텔시스템즈(esryu@eastelsystems.com), \*\* 인천대학교 정보통신공학과(jnglee@lion.inchon.ac.kr)  
 논문번호 : K01069-0210, 접수일자 : 2001년 2월 10일

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

하여 간단하게 구현할 수 있다<sup>[1]</sup>. 고속 전송에 강한 OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템은 5 GHz대역을 사용하고 있으며 이 주파수 대역이 사용될 실내 및 실외환경에서는 사람, 가구 등 시설물에 의해 전파의 반사, 감쇠, 회절현상이 일어나므로 다중 경로 전파 환경이 구성되고 페이딩이 발생한다. 그러므로 최적의 무선 시스템을 구성하기 위해서는 우선 실내 및 실외 무선 채널을 명확히 분석하여야 한다. 본 논문에서는 OFDM 방식을 적용한 무선 LAN 시스템의 채널환경을 분석하기 위하여 II장에서 고속 무선 LAN 시스템을 고찰하고 모의 구현하였으며 III장에서는 통계적 채널 모델링을 통해 얻어진 채널 변수를 이용하여 적용이 예상되는 실내 무선 환경과 유사한 채널 환경을 모의하였다. IV장에서는 OFDM 방식 무선 LAN에서의 채널에 의한 열화보상 기법을 분석하였다. V장에서는 이러한 결과들을 바탕으로 모의한 채널과 등화 기법에 따른 고속 무선 LAN 시스템의 성능을 고찰하였다. 또한 측정 데이터를 기반으로 제안된 JTC모델 중 실외 모델을 채택하여 시스템의 성능을 분석하였으며 VI장에서 결론을 맺었다.

## II. OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템 모델

최근에 5GHz 대역에서 OFDM 방식을 이용하여 6~54Mbps 정도로 고속의 데이터 전송이 가능한 고속 무선 LAN의 표준안인 IEEE 802.11a 가 확정되었다<sup>[2]</sup>.

보호구간 GI(Guard interval)는 유효 심볼 구간의 25%를 심볼의 앞으로 복사하여 확장하는 순환 확장 방법을 사용함으로써 유효 심볼 구간의 경계 부

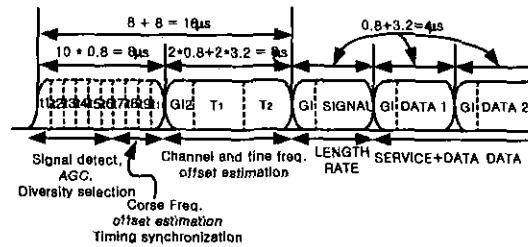


그림 1. OFDM 혼련 심볼의 형태

분에서 부반송파의 위상이 연속적인 결과를 얻을 수 있어 OFDM 신호의 직교성을 유지할 수 있다. 프리엠블과 신호부, 데이터 부를 자세히 살펴보면 그림 1과 같다.

고속 무선 LAN 시스템은 48개의 데이터 부반송파( $N_{SD}$ )와 4개의 파일럿 부반송파( $N_{SP}$ )를 사용하고 12개의 가상 부반송파를 이용한다. 20MHz 주파수 대역을 이용하기 때문에 각 부반송파 이격 간격을 정의할 수 있고, IFFT/FFT 간격도 정의 내릴 수 있다. 앞서 설명한 보호구간을 삽입하여 OFDM 심볼의 길이와 신호부의 길이, 프리엠블의 길이 등을 얻을 수 있으며 그림 1의 OFDM 전송방식과 관계 있는 시간 변수들은 새로 규정된 무선 LAN 표준안에 잘 정리되어 있다<sup>[2]</sup>.

앞서 설명한 데이터가 전송될 고속 무선 LAN 시스템을 구현하기 위해 IEEE 802.11a에서 제안한 모델을 이용하며 시스템 블록도는 그림 2와 같다.

전송하고자하는 데이터는 그림 2의 시스템 모델 블록도와 같이 스크램블, convolution 부호화, 인터리빙, 변조, IFFT를 수행한 후 보호구간을 삽입하여 전송하게 된다. 수신단은 송신단 역의 과정으로 신호를 수신하게 된다. 데이터부는 127비트의 프레임 동기화 스크램블러에 의해 스크램블 된다. 스크램블

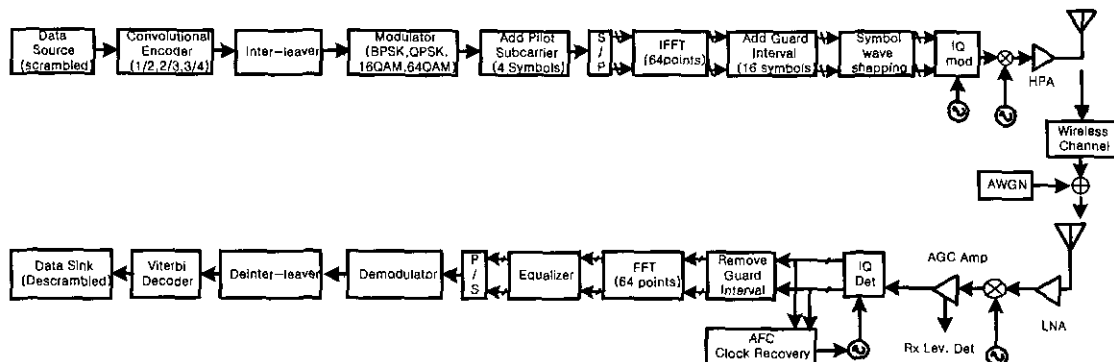


그림 2. OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템 블록도

된 데이터는 전송율에 따라서 부호율이 1/2, 2/3, 3/4 인 convolution 부호화기에 의해 부호화 되는데 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 convolution 부호화기 하나가 사용되며 2/3, 3/4은 puncturing 기법을 사용하여 얻게 된다. Puncturing 기법은 전송할 때 전송 비트수를 줄이기 위하여 코딩된 비트의 일부분을 생략하여 전송함으로써 부호율을 높이는 방식으로 수신단은 생략된 비트를 '0'으로 채우고 비터비 복호(Viterbi decoding)를 하며 convolution 부호화는 8진수로 표시된 표준 다항식 133<sub>8</sub> 및 171<sub>8</sub>을 이용하여 부호화 한다. Convolution 부호화된 데이터는 한 OFDM 심볼의 비트 수와 같은 블록 크기로 비트 열의 순서를 바꾸어 인터리빙 및 역 인터리빙이 수행된다<sup>[2]</sup>. 인터리빙된 데이터는 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 변조를 하여 부반송파에 실리게 되는데 부호화와 인터리빙된 2진 직렬 입력 데이터는 각 변조방식의 성상도에 부합되는 복소수로 대응되며 복소 신호는 변조 방식에 따라 정규화된다.

직·병렬 변환기를 거쳐 모아진 48개 데이터 사이에 미세한 주파수 오프셋이나 위상잡음을 보상하는 파일럿 신호가 삽입되고, 의사 이진 계열(pseudo binary sequence)에 의해 BPSK 변조되어 -21, -7, 7, 21번째 부반송파에 실린다.

복소 데이터 스트림은 데이터 부반송파  $N_{SD}(=48)$  개로 나누어져  $n$ 개의 심볼이 된다. 이렇게 나누어진 OFDM 심볼  $r_{DATA,n}(t)$ 는 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$r_{DATA,n}(t) = w_{T_{SYM}}(t) \left\{ \sum_{k=0}^{N_{M}-1} A_{k,n} \exp(j2\pi M(k) \Delta_F(t - T_{CI})) + \rho_{n+1} \sum_{k=-N_{ST}/2}^{N_{ST}/2} P_k \exp(j2\pi k \Delta_F(t - T_{CI})) \right\} \quad (1)$$

$A_{k,n}$ 은  $n$ 번째 OFDM 심볼  $k$ 번째 부반송파에 실리는 데이터이고,  $M(k)$ 는 -26:26으로 할당된 데이터 부반송파를 물리적 부반송파 번호인 0~47번으로 할당하여 0번째(DC)와 파일럿 부반송파 위치는 비워두는 형태를 가진 함수이다.  $n$  번째 OFDM 심볼의 파일럿 부반송파의 구성은 비트 열  $P$ 의 역이산푸리에 변환으로 수행한다. 파일럿 부반송파의 극성을 결정하는 열  $\rho_n$ 은 스크램블러에 의해 발생된 비트 열에서 0은 1로 1은 -1로 바꾼 것으로 각 비트는 하나의 OFDM 심볼에 적용되고  $\rho_0$ 는 신호 부 심볼의 파일럿 부반송파에 곱해지게 되며  $\rho_1$ 부

터는 데이터 심볼에 적용한다. 또한 식 (1)에서  $w_{T_{SYM}}(t)$ 는 심볼 구간의 윈도우 함수이며,  $N_{ST}$ 는 전체 부반송파의 수를 나타낸다.

### III. 고속 무선 LAN 채널 모델

본 장에서는 채널의 통계적 특성에 대한 분석이 용이하고 시뮬레이션에 간단하게 적용가능 하도록 제안된 Saleh-Valenzuela의 채널 모델링 방법을 이용하여 모델링에 필요한 파라미터들을 도출하고 그 과정을 나타내고자 한다<sup>[4][5]</sup>.

Saleh-Valenzuela 채널 모델은 실내 다중 경로 무선 채널에 대한 통계적 모델로써 측정 채널로부터 채널 모델링에 필요한 경로 손실  $\beta_k$ 와 펄스 도착 시간  $\tau_k$ 의 결합 통계치(joint statistics)를 구하는 것이다. 즉 채널 임펄스 응답이 cluster와 ray성분으로 이루어져 있고 cluster 감쇠율( $\Gamma$ ), ray 감쇠율( $\gamma$ )과 각각의 도착 시간율을 가지면서 분포한다고 보았다. 일반적으로 수신되는 신호는 독립적인 ray 성분으로 이루어진 cluster 형태를 이루고 있으며 cluster는 건축물의 구조, ray는 송수신기 근처에 존재하는 방해물에 영향을 받는다. Saleh-Valenzuela 모델에서 제시한 cluster와 ray의 관계를 이용하여 채널의 임펄스 응답을 살펴보면 다음과 같다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \beta_{kl} e^{j\theta_{kl}} \delta(t - T_l - \tau_{kl}) \quad (2)$$

$\beta_{kl}$ 은  $l$ 번째 cluster  $k$ 번째 ray 신호의 크기로 Rayleigh 랜덤 변수이고,  $\theta_{kl}$ 은  $[0, 2\pi)$ 에서 균일한 분포를 가지는 위상 랜덤 변수이다. 채널 모델링을 위한 주요 파라미터로는 cluster 도착율과, ray 도착율, cluster 전력 감쇠 상수, ray 전력 감쇠 상수 등이 있는데 이러한 변수로 신호의 크기  $\beta_{kl}$ 을 다음과 같이 모의 할 수 있다.

$$\beta_{kl}^2 = \overline{\beta^2(T_l, \tau_{kl})} = \overline{\beta^2(0, 0)} \cdot \exp(-T_l/\Gamma) \cdot \exp(-\tau_{kl}/\gamma) \quad (3)$$

$\Gamma$ 는 cluster의 전력 감쇠 상수이고  $\gamma$ 는 ray의 전력 감쇠 상수이다. Cluster의 첫 번째 ray가 도착하는 시간은 도착율  $\Lambda$ 로, ray는 도착율  $\lambda$ 로 Poisson 분포를 가지며 도착하고 cluster의 도착 시간 간격  $T_l$ 과  $l$ 번째 cluster 시작부터  $k$ 번째 ray까지의 시간 간격  $\tau_{kl}$ 은 각각 독립 지수함수 확률분

포를 따른다. 직접파 성분인 첫 번째 cluster의 도착 시간  $T_0$ 와  $l$ 번째 cluster와 0번째 ray의 시간 간격  $\tau_{0l}$ 은 0이다.

이러한 Saleh-Valenzuela 채널 모델을 바탕으로 콘크리트 벽면과 시멘트 벽돌로 이루어져 있는 Clyde Building(CB) 사무실과, 철골과 석고보드로 되어있는 Crabtree Building(CTB) 사무실에서 일과 시간 중에 측정한 데이터를 바탕으로 얻은 파라미터 값이 표 1에 제시되어 있다<sup>[6]</sup>. 실외채널 모의 시험 모델은 PCS 또는 이동통신용으로 권고되고 있는 JTC 채널 모델을 적용한다<sup>[7]</sup>. 비교적 열악한 실외지역의 JTC 모델 및 실내 환경중 비교적 상태가 열악한 실내 상업지역에서의 JTC 모델도 성능평가 대상으로 적용한다.

표 1. 두 건물의 Saleh-Valenzuela 모델 파라미터

parameter	Clyde Building	Crabtree Building
$\Gamma$	34ns	78ns
$\gamma$	29ns	82ns
$1/\lambda$	17ns	17ns
$1/\lambda$	5ns	7ns

#### IV. OFDM 고속 무선 LAN 시스템의 채널 등화 기법

##### 1. LS 등화 기법

OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템은 표준안에 따른 긴 훈련 신호를 이용하여 채널에 의한 열화를 보상한다. 그러나 긴 훈련 신호를 다수 개 전송한다면 전송 효율이 문제가 되므로 표준안에 따라 그림 1의 긴 훈련 심볼( $T_1, T_2$ ) 두개의 평균을 이용하여 채널을 추정하고 감쇠를 보상한다. 먼저 채널 추정시 비교적 간단한 추정치 에러의 자승을 최소화하는 방법인 LS 방법을 이용하여 단일 탭 등화를 수행한다. 수신되는 훈련심볼은 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = XH + N \quad (4)$$

여기서  $Y$ 는 수신 신호벡터,  $H$ 는 채널벡터,  $X$ 는 송신신호를 나타내는 대각선 행렬(diagonal matrix)이다.  $N$ 은 잡음전력이  $\sigma_n^2$ 으로 표시되는 평균이 0인 부가백색잡음이다. 그러므로 다음과 같은 행렬

식으로 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & x_2 & & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

잡음전력, 즉 오차의 제곱에 대하여 표시하면 다음 식 (6)과 같이 정리할 수 있다.

$$(Y - XH)^T(Y - XH) = N^T N \quad (6)$$

식 (6)에서 T는 Hermitian transpose를 표시하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - x_i H_i)^2 = \sum_{i=1}^n n_i^2 \quad (7)$$

식 (7)로 표시되는 오차의 제곱항을 최소화하기 위한 미분을 행하여  $H_i$ 에 대한 추정치를 얻으면 다음과 같다.

$$\hat{H}_{i,b} = \frac{y_i}{x_i} \quad (8)$$

여기서  $\hat{H}_{i,b}$ 는 LS 방법으로 추정된 채널을 의미하며  $x_i$  및  $y_i$ 는 각각 고속 무선 LAN 시스템에서의 송신 및 수신된 긴 훈련 심볼을 표시한다.

##### 2. LMMSE 등화 기법

IEEE 802.11a 고속 무선 LAN 표준안에 따르면 두 개의 긴 훈련 신호를 이용하여 채널에 의한 열화를 앞서 제시된 LS 방식에 따라 보상하여야 한다. 그러나 시스템의 성능 향상을 얻기 위하여 추정치 에러 자승의 평균을 작게하는 LMMSE 방법을 사용할 수 있다. 구하고자 하는 추정치를 선형적으로  $K \hat{H}_b$ 로 표시하면 다음과 같은 직교 성질을 만족한다고 가정할 수 있다.

$$E \left\{ \left( H - K \hat{H}_b \right) \hat{H}_b^T \right\} = 0 \quad (9)$$

여기서  $H$ 는 실제 채널이고  $\hat{H}_b$ 는 LS 방법으로 추정된 채널이다. 식 (9)를 다시 쓰면 기대값은 상관  $R$ 로 표시할 수 있으므로 다음 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} - KR_{\hat{H}_k \hat{H}_k} = 0 \quad (10)$$

여기서 오차 제곱의 평균치를 최소화하는  $K$ 를 구하면 계수  $K$ 는 다음과 같이 표시된다<sup>[8]</sup>.

$$K = R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} R_{\hat{H}_k \hat{H}_k}^{-1} \quad (11)$$

따라서 LMMSE 추정 채널은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{H}_{lmmse} = R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} R_{\hat{H}_k \hat{H}_k}^{-1} \hat{H}_k \quad (12)$$

여기서  $R_{\hat{H}_k \hat{H}_k}$  은  $\hat{H}_k$  의 자기상관으로서 다음 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} = E\left\{ \hat{H}_k \hat{H}_k^T \right\} = R_{HH} + \sigma_n^2 \left( X X^T \right)^{-1} \quad (13)$$

여기서  $\sigma_n^2$  은 잡음전력을 의미한다. 사용하는 주파수 대역에서 신호가 동일한 전력을 가진다고 가정하면  $R_{\hat{H}_k \hat{H}_k}$  은 아래와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} = R_{HH} + \frac{1}{SNR} I \quad (14)$$

SNR(Signal to Noise Ratio)은 신호대 잡음비이고  $I$ 는 단위 행렬이다. 따라서 식 (12)를 다시 쓰면 아래와 같다.

$$\hat{H}_{lmmse} = R_{\hat{H}_k \hat{H}_k} \left( R_{HH} + \frac{1}{SNR} I \right)^{-1} \hat{H}_k \quad (15)$$

공분산 행렬  $R_{\hat{H}_k \hat{H}_k}$  와  $R_{HH}$  의 구성요소들은 다음과 같이 각 부반송파의 주파수 자기 상관함수  $r(\cdot)$ 로 다음 식 (16)과 같이 표시될 수 있다.

$$E\left\{ H_k \hat{H}_{k'}^* \right\} = E\left\{ H_k H_{k'}^* \right\} = r(k-k') \quad (16)$$

$k$  와  $k'$  는  $k$ 번째,  $k'$ 번째 부반송파를 의미한다. 고속 무선 LAN의 표준안에 의거한 두 개의 긴 훈련 심볼로는 신뢰성 있는 식 (16)의 값들을 얻는 것이 용이하지 않다. 따라서 실내 및 실외채널에서

대부분의 경우 신호의 크기가 지수 함수적으로 감소하는 모델로 나타난다는 것을 고려하면 다중 경로 채널에서 신호의 주파수 응답으로부터 주파수 상관 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$r(k-k') = \frac{1}{1 + j2\pi\tau_{rms}(k-k')/T_{FFT}} \quad (17)$$

$1/T_{FFT}$  는 부반송파의 이격 간격으로  $T_{FFT}$ 는 표준안, [2]에서 제시한  $3.2\mu s$ 를 이용한다. 이와 같이 주파수 상관 함수를 식 (17)과 같이 유도하고 식(15)에 적용하여 LMMSE 방법으로 채널의 열화를 보상할 수 있지만 실제 채널의 rms 지연 확산  $\tau_{rms}$ 는 수신단에서 정확한 값을 알 수 없다. 따라서 본 논문에서는 LS 방식을 이용하여 추정된 채널  $\hat{H}_k$  를 역이산푸리에 변환한 후 채널의 임펄스 응답을 추정하여 지연 확산 시간을 다음 식으로 얻어낸다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (18)$$

$$\overline{\tau^n} = \frac{\sum_i \tau_i^n \beta_i^2}{\sum_i \beta_i^2} : n=1,2 \quad (19)$$

$\beta_i$  와  $\tau_i$ 는  $i$ 번째 경로로 들어오는 신호 크기와 전송 지연 시간이다.

## V. 모의 실험 및 분석

본 논문에서는 성능분석을 위하여 앞서 제시한 그림 2의 시스템 모델에서 변조방식은 16QAM 및 1/2 코딩율의 convolution 부호화기를 사용하고 길이가 56인 경관정 비터비 복호기를 이용하여 최대 전송율이 24Mbps인 시스템을 구성한다. 본 시스템은 1/2 convolution 부호화기를 사용하므로 3dB의 신호대 잡음비의 손실이 발생하고 25% 보호구간 삽입으로 0.9691dB 손실이 일어난다. 또한 pilot 부반송파 4개의 영향으로 약 0.3476dB 손실이 발생한다. 성능시험을 위한 무선 채널환경으로는 전형적인 실내 및 실외 채널 모델을 적용한다. 각각의 채널에 의한 열화를 보상하는 방법으로 앞서 제시한 LS 방법과 LMMSE 방법을 적용하여 단일 탭 등화기를 구성하고 고속 무선 LAN 시스템의 성능에 관한 모의 실험을 수행한다.

1. 실내 채널에서의 성능분석

표 1에서 주어진 Saleh-Valenzuela 채널 모델링 파라미터인 cluster 도착율( $\lambda$ )과 ray 도착율( $\lambda$ )이 Poisson 분포를 가지도록 발생시키며, 식 (3)을 이용하여 Rayleigh 분포를 가지는 신호의 크기를 얻는다. 또한 식 (2)와 같이  $[0, 2\pi)$ 에서 균일한 분포를 가지는 채널의 임펄스 응답을 Dynamic range를 20[db]로 하여 모의한다. 즉 CB 채널과 CTB 채널의 복소 임펄스 응답을 모의한다. 모의한 채널은 cluster와 ray 전력 감소 상수가 CTB 채널에서 크기 때문에 CB 채널보다 CTB 채널에서 반사파 성분이 많이 발생하고 지연 시간 또한 길게 나타난다. 고속 무선 LAN 시스템에서 긴 혼련 심볼로 채널을 추정하여 복원하는 패킷의 길이가 4095[byte]이므로 패킷 당 각각의 긴 혼련 심볼로 LS 방식 채널 추정을 수행하고 LS 추정 채널로부터 rms 지연 확산 시간을 얻어 앞에서 설명한 LMMSE 방식을 적용하여 채널로 인한 열화를 보상한다. 시스템 BER은 입력 데이터 비트와 그림 2의 고속 무선 LAN을 적용하여 얻어진 출력 데이터 비트를 비교하여 측정한다.

그림 3은 CB채널에서의 BER 성능 분석도이다. 그림에서 Ideal은 채널의 임펄스 응답을 알고 있다고 가정하고 채널에 의한 열화 현상을 보상하여 인접 심볼에 의한 간섭 및 잡음만이 고려된 경우이다. 그림 3의 LS 및 LMMSE는 각각의 방법으로 채널을 추정하여 열화를 보상한 것이다. 실내 채널 환경에서 채널의 임펄스 응답은 보호구간 0.8 $\mu$ s의 길이보다 대부분 짧기 때문에 ISI(Intersymbol Interference)에 의한 영향은 거의 발생하지 않아 이상적인 단일 탭 등화기의 경우는 BER 성능이 우수하다. LS 방식과 LMMSE 방식을 비교하여 보면 그림 3에서 보는 것 처럼  $E_b/N_0$ 값이 증가할수록 LMMSE 방식이 LS 방식보다 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

그림 4는 CTB 채널에서의 BER 성능 분석도이다. CTB 채널은 CB 채널보다 반사파로 인한 지연 성분이 많이 존재하는 채널이므로 그림 3의 경우보다 BER 성능이 열악함을 확인할 수 있다. 그러나 실내 채널에서 발생하는 지연 현상은 대부분이 보호구간 보다 짧게 나타나므로 ISI로 인한 시스템 성능 저하는 거의 발생하지 않는다. 그림 4에서 채널 열화 보상 방법으로 LS 방식을 이용한 경우, LMMSE 방식을 적용한 경우에 대하여 각각 BER 성능을 분석하였다.

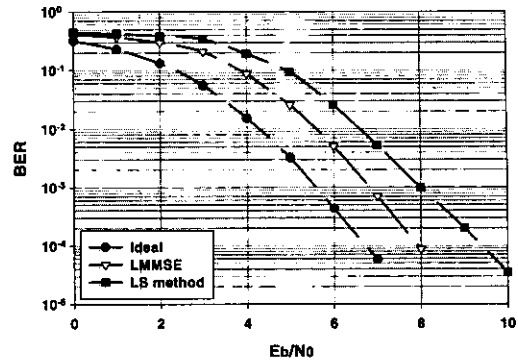


그림 3. CB 채널에서의 성능분석

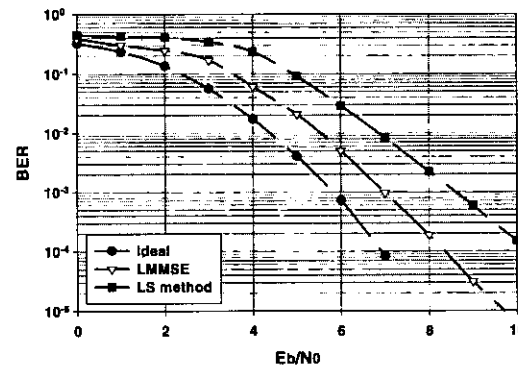


그림 4. CTB 채널에서의 성능분석

2. JTC 모델을 적용한 고속 무선 LAN의 성능분석

실측 데이터를 기준으로 9가지의 다양한 채널에 대한 모델을 제안한 JTC 모델 중 실내 상업 지역 모델과 가장 열악한 실외 환경으로 실외 도시/교외 저층 지역 모델을 선택하여 채널에 따른 BER 성능을 모의 실험한다.

그림 5는 실내 상업 지역 채널 모델로 지연시간에 따른 평균 전력 프로파일로 최대 지연 시간이 200[ns]이다. 그림 6은 실내 상업 지역 모델에서의 BER 성능 분석도이다. Ideal 성능은 인접 심볼 및 잡음에 의한 열화만을 나타낸 것이다. 본 실험에서는 적용된 실내 무선 채널 환경을 LS 방식으로 추정하고 이것으로부터 rms 지연 확산 시간 값을 구한 후 LMMSE 방식을 적용하여 시스템의 성능을 분석하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 OFDM 방식을 적용한 고속 무선 LAN 시스템에서 ISI 문제 해결을 위하여 보호구간을 삽입하기 때문에 ISI에 의한 열화 현상은 심각하게 나타나지 않는다.

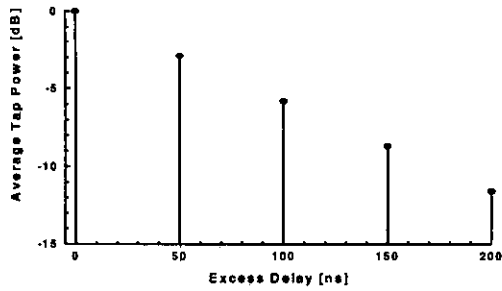


그림 5. JTC 실내 상업 지역 채널 프로파일

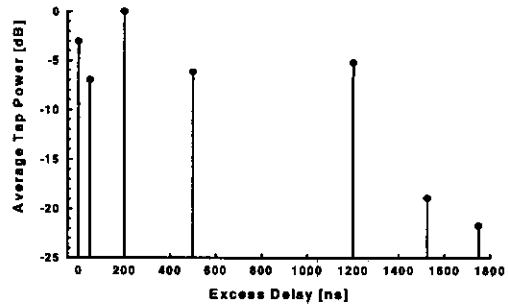


그림 7. 실외 도시/교외 저층 지역 JTC 채널 프로파일

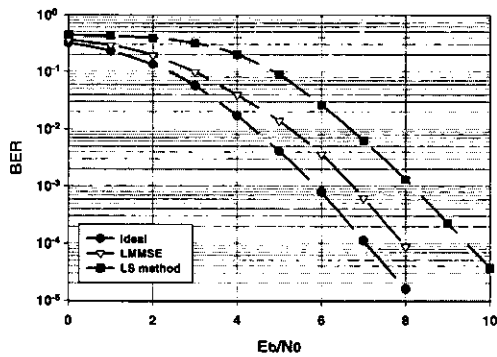


그림 6. 실내 상업 지역 채널 모델에서의 성능분석

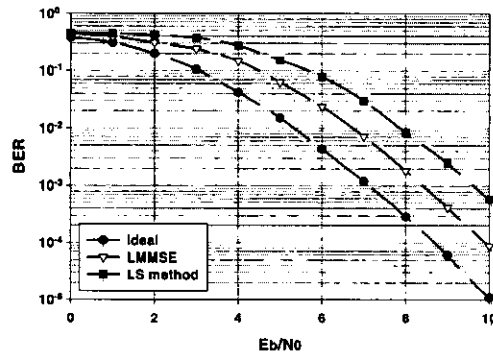


그림 8. 실외 도시/교외 저층 지역 채널에서의 성능분석

그림 7은 실외 도시/교외 저층 지역 모델의 경로 지연시간에 따른 평균 전력 프로파일이며 최대 지연 시간이 1750[ns]까지 발생하는 상당히 열악한 환경의 JTC 채널 모델이다. 그림 8은 그림 7의 모델에서 BER 성능을 분석한 것으로 보호구간 보다 채널의 최대 지연 시간이 상당히 길기 때문에 ISI 현상이 상대적으로 훨씬 심하게 일어난다. 그러므로 그림 6과 비교해 보았을 때 실내 환경보다 실외 환경의 성능이 상당히 열악함을 알 수 있다. LMMSE 방식을 적용할 경우 성능이 향상됨을 확인할 수 있으나 이와 같은 실외 환경에서 단일 탭 등화기를 사용하여 보상하는 LS 및 LMMSE 방식은 실내 환경에서의 성능에 비하여 열악하기 때문에 큰 신호 전력이 요구됨을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 고속 무선 LAN 시스템의 성능을 분석하기 위하여 IEEE 802.11a 표준안에 맞추어 최대 전송율이 24Mbps인 시스템을 구성하였으며 성능 지표로 BER을 선정하였다. 모의 성능시험은 CB 와 CTB 채널의 변수를 이용하였다. 또한 대표

적인 채널 모델로 제안된 JTC 모델에서 실내 환경과 실외 환경 각각 하나를 선택하여 시스템의 성능을 분석하였다. 긴 훈련 심볼을 이용하여 채널의 열화 현상을 보상하는 고속 무선 LAN 표준안에 의거한 단일 탭 등화기는 LS 방식과 이 방식으로부터 얻은 채널의 rms 지연 확산 값을 이용하여 다시 채널을 추정하는 형태의 LMMSE 방식을 채택하여 비교 분석하였다. 본 논문에서 제안한 것처럼 우선 비교적 간단한 LS 방식으로 추정하여 얻은 채널의 rms 지연 확산 값을 구하여 LMMSE 방식을 적용한 경우 결과 그림들에서 보는 것처럼 신호대 잡음비가 클수록 성능이 현저히 개선됨을 알 수 있었다.

따라서 채널 환경 및 보상기법의 적용 방식에 따라 고속 무선 LAN 시스템의 설계, 제작시 요구되는 신호대 잡음전력 및 시스템 동작 성능 등을 비교적 정확히 예측할 수 있다. 그러므로 향후 고속 무선 LAN 시스템의 동작 환경 및 요구 성능 등의 충족을 위한 시스템 시험 등에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] L. J. Cimini, Jr., "Analysis and Simulation of a Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 7, pp. 665-675, July 1985.

[2] IEEE, "Supplement to Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11 : Wireless MAC and PHY Specifications : High Speed Physical Layer in the 5-GHz Band," P802.11a/D7.0, July 1999.

[3] R. V. Nee, and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.

[4] H. Hashemi, "The Indoor Radio Propagation Channel," *Proceedings of the IEEE*, vol. 81, no. 7, pp. 943-968, July 1993.

[5] A. A. M. Saleh, and R. A. Valenzuela, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.

[6] Q. H. Spencer, B. D. Jeffs, M. A. Jensen, and A.L. Swindlehurst, "Modeling the statistical Time and Angle of Arrival Characteristics of an Indoor Multipath Channel," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 347-360, March 2000.

[7] K. Pahlavan, and A. H. Levesque, *Wireless Information Networks*, John Wiley & Sons, 1995.

[8] L. L. Scharf, *Statistical Signal Processing : Detection, Estimation, and Time Series Analysis*, Addison-Wesley, 1991.

류 은 숙(Eun-suk Ryu)

정회원



1999년 2월 : 인천대학교  
정보통신공학과 졸업  
2001년 2월 : 인천대학교  
정보통신공학과 석사  
2000년 12월~현재 :  
이스텔시스템즈

<주관심 분야> 무선통신, 통신시스템, 디지털 신호 처리

이 종 길(Jong Gil Lee)

정회원

한국통신학회 논문지 제24권 제1A호 참조