

논문 2006-43TC-3-8

새로운 SNR 추정방법을 이용한 적응 OFDM 시스템

(Adaptive OFDM System Employing a New SNR Estimation Method)

김 명 익*, 안 상 식**

(Myung-Ik Kim and Sang-sik Ahn)

요 약

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템은 직렬로 입력되는 데이터 열을 N개 (부반송파의 수)의 병렬 데이터 열로 변환하여 서로 다른 주파수를 가지는 N개의 직교 부반송파로 변조시켜서 동시에 전송하기 때문에 스펙트럼 효율이 높으며 고속의 데이터 전송이 가능하다. 그러나, 모든 부반송파에 대해 같은 변조 방식을 이용하는 OFDM 시스템의 경우 심하게 페이딩 된 부채널의 비트오류율 (BER: Bit Error Rate)에 의해서 전체 시스템의 비트오류율이 결정되는 문제점을 안고 있다. 이 문제를 해결하여 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 부채널 마다의 SNR (Signal to Noise power Ratio)을 추정하고 그 크기에 따라 부반송파의 변조 방식을 가변적으로 결정하는 적응 변조가 필요하다. 실제로 IEEE 802.11a의 경우 변조 방식에 따라 6 ~ 54 Mbps의 전송 속도를 가진다. SNR을 추정하기 위한 대표적인 방식인, 주파수 영역의 심볼을 이용하여 MSE (Mean Square Error)를 최소화하는 방법을 이용하는 직접추정 방식과 성상도상에서 수신된 복소값과 추정된 심볼값 사이의 RMS 에러를 이용하는 방식, 그리고 Viterbi 복호 과정에서 누적된 최소 거리 (Cumulative Minimum Distance)를 이용하는 방식에 대해서 비교 분석하고, 이를 통해 EVM 방식과 Viterbi 복호과정을 병행해서 사용하는 새로운 SNR 추정방법을 제안하며 이를 이용한 부반송파 적응 OFDM 시스템을 제안한다. 마지막으로, IEEE 802.11a의 기준에 근거하여 새로운 적응 OFDM 시스템의 성능향상을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

Abstract

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) systems convert serial data stream to N parallel data streams and modulate them to N orthogonal subcarriers. Thus spectrum utilization efficiency of the OFDM systems are high and high-speed data transmission is possible. However, with the OFDM systems using the same modulation method at all subcarriers, the error probability is dominated by the subcarriers which experience deep fades. Therefore, in order to enhance the performance of the system adaptive modulation is required, with which the modulation methods of the subcarriers are determined according to the estimated SNRs. The IEEE 802.11a system selects various transmission speed between 6 and 54 Mbps according to the modulation mode. There are three typical methods for SNR estimation: Direct estimation method uses the frequency domain symbols to estimate SNR directly by minimizing MSE (Mean Square Error), EVM method utilizes the distance between the demodulated constellation points and received complex values, and the method utilizing the Viterbi algorithm uses the cumulative minimum distance in decoding process to estimate the SNR indirectly. Through comparison analyses of three methods we propose a new SNR estimation method, which employs both the EVM method and the Viterbi algorithm. Finally, we perform extensive computer simulations to confirm the performance improvement of the proposed adaptive OFDM systems on the basis of IEEE 802.11a.

Keywords : OFDM, Adaptive modulation, SNR estimation

I. 서 론

급증하는 정보통신의 수요와 다양한 정보매체의 이

용이 늘어남에 따라서 통신의 서비스는 디지털 및 대용량 고속 서비스를 필요로 하게 되었다. 이러한 정보통신의 요구 조건을 만족하기 위하여 병렬 채널을 이용하는 대용량 통신 방식이 고안되었는데, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 방식이 가장 널리 알려진 다중 반송파 시스템이다. 대표적으로 디지털 오디오 방송 (DAB), 디지털 비디오 방송 (DVB) 시스템의 표준으로 채택되었으며^{[1][2]},

* 정회원, ** 평생회원, 고려대학교 전자및정보공학부 (Dept. of Electronics and Information Engineering, Korea Univ.)

※ 본 연구는 2004년도 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.

접수일자: 2005년12월1일, 수정완료일: 2006년3월14일

IEEE 802.11a (USA), ETSI HIPERLAN/2 (Europe)의 무선 LAN (Local Area Network) 표준으로 확정되었다^{[3][4]}.

OFDM은 직렬로 입력되는 데이터 열을 N 개 (부반송파의 수)의 병렬 데이터 열로 변환하여 서로 다른 주파수를 가지는 N 개의 직교 부반송파로 변조시켜서 동시에 전송한다. 이때 각각의 부반송파는 직교성이 유지되어야 하고 이러한 직교성으로 인하여 각 부반송파는 스펙트럼 상에서 중첩될 수 있으므로 스펙트럼 효율이 높으며, 같은 전송 속도를 갖는 단일 반송파 전송 방식과 비교하면 심볼의 길이가 N 배 길기 때문에 타이밍 에러에 상당히 강건하다. 또한, 인접한 데이터 심볼 사이에 채널에 의한 전송 지연 시간보다 긴 보호구간 (Guard interval)을 두는 구조로 ISI (Inter-Symbol Interference)를 쉽게 해결할 수 있으며 임펄스성 잡음과 다중 경로 페이딩 (Multi-path fading)에 강한 장점이 있다^[5].

IEEE 802.11a 시스템은 5 GHz 대역에서 채널 부호화 방법에는 1/2, 2/3, 3/4의 부호율 (Coding Rate)을 가지는 컨볼루션 부호기와 Viterbi 복호기를 사용하며, 변조에는 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 사용한다. 채널 상태에 따라 부호기와 변조기의 적절한 조합을 통하여 6~54 Mbps의 전송 속도를 지원하게 된다.

현재의 OFDM 시스템에서는 모든 부채널로 동일한 비트를 전송하기 때문에, 심하게 페이딩 된 부채널의 비트오류율 (BER: Bit Error Rate)에 의해서 전체 시스템의 비트오류율이 결정되는 문제점을 안고 있다. 이 문제를 해결하여 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는, 모든 부채널로 동일한 비트를 전송하지 않고 각 부채널의 채널 상태에 따라 전송 속도를 가변적으로 결정하여야 한다. 채널 상태는 수신된 신호의 SNR을 이용하여 추정할 수 있으며, 송신단은 SNR에 기초하여 변조 방식을 변화시킨다. 따라서 페이딩을 심하게 맞아 SNR이 낮은 부채널을 통해서는 저속의 전송을 하거나 전송을 하지 않고 높은 SNR을 갖는 부채널을 통해서는 고속의 전송을 함으로써 다중반송파 시스템의 장점을 극대화할 수 있다^{[6]-[9]}.

일반적으로 무선 통신 시스템의 채널은 모바일의 이동과 지형에 따라 채널의 주파수 응답이 지속적으로 변한다. 따라서 적응 변조 방식을 적용할 경우 채널의 추정, 추정된 채널 정보의 궤환, 궤환된 채널 정보를 이용한 변조 방식의 선택이 지속적으로 요구된다. 모바일이 고속으로 이동하는 환경에서는 채널이 매우 빠르게 변

하므로 수신단에서 전송된 채널 정보는 실제 전송시의 채널과 크게 다를 수 있다. 이러한 경우에 실제 채널과 적응 변조에 사용된 채널 정보가 다르므로 시스템의 성능이 크게 저하된다. 따라서 적응 변조 방식은 모바일이 고속으로 이동하지 않으므로 비교적 느린 페이딩이 발생하는 실내 환경에 적합하다.

부채널의 SNR 추정을 위한 방식으로 주파수 영역의 심볼을 이용하여 MSE (Mean Square Error)를 최소화하는 방법으로 SNR을 추정하는 방식^[10]과 성상도상에서 수신된 복소값과 수신된 복소값으로 추정된 심볼값으로 정규화 된 에러로부터 SNR을 추정하는 방식^[3], 그리고 Viterbi 복호 과정에서 누적 최소 거리 (Cumulative minimum distance)를 이용하여 간접 추정하는 방식^{[5][11]}을 본 논문에서 다루었다.

적응 변조를 위한 문턱값 (Threshold)의 결정은 일반적으로 두 가지로 분류되며, 기준 BER을 이용한 방법과 파라미터 최적화를 통한 방법이 있다. 기준 BER을 이용한 방법은 적응 변조 시스템에 사용되는 각각의 변조 방식에 따른 BER 곡선을 그린 다음 도출하는 것으로 기준 BER에 해당하는 SNR 문턱값들을 그래프로부터 읽는다. 파라미터 최적화를 통한 방법은 부호율의 선택에 의한 처리량의 최적화를 목적으로 채널에서의 처리량이 극대화되는 부호율을 선택하는 방법이다^{[12][13]}.

본 논문은 II장에서 OFDM 시스템의 변복조와 채널 모델에 대해 기술하고 III장에서 OFDM 시스템에 적용 가능한 SNR 추정 기법들을 설명한다. 그리고 IV장에서는 시뮬레이션을 통해 각 SNR 추정 방식의 성능을 확인하여 부반송파 적응 OFDM 시스템을 제안하고 제안한 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하며, 마지막으로 V장에서 결론을 내린다.

II. OFDM 변복조와 채널 모델

1. OFDM 변복조

N 개의 부반송파 OFDM 변조 방식에서 반송파의 주파수 f_k 는 $1/T$ 간격으로 위치한다. T 는 심볼의 시간 구간이다.

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T}, \quad 0 \leq k < N \quad (1)$$

반송파 신호는 다음과 같다.

$$c_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

각 부반송파는 스펙트럼 상에서 중첩되며 인접 부반송파의 간격이 $1/T$ 의 정수배가 되면 직교성이 유지된다.

$$\int_0^T c_k(t)c_l^*(t)dt = \begin{cases} T & k = l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

심볼을 S_k 라고 하면, 변조된 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} S_k c_k(t) = \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$

통신 시스템에서 송수신 신호는 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = h[x(t), n(t)] \quad (5)$$

여기서 $y(t)$ 는 수신신호, $h(t)$ 는 선형시스템, $x(t)$ 는 입력신호, 그리고 $n(t)$ 는 잡음이다. OFDM 시스템의 경우, ISI가 없다고 가정하면 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = ax(t - \tau) + n(t) \quad (6)$$

여기서 a 는 경로 크기 (path amplitude)를 나타내며 레일리 분포를 갖고, τ 는 경로 도착 시간 (path arrival time)을 나타낸다. 이제, 잡음을 무시하면 수신된 신호는 다음 식과 같고

$$y(t) = ax(t - \tau), \quad 0 \leq t - \tau < T \quad (7)$$

복조 과정을 거치면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_k &= \frac{1}{T} \int_{\tau}^{T+\tau} y(t)c_k^*(t)dt \\ &= \frac{1}{T} \int_{\tau}^{T+\tau} ax(t - \tau)e^{-j2\pi f_k t}dt \\ &= W_k \frac{1}{T} \int_0^T x(t)e^{-j2\pi f_k t}dt \\ &= W_k S_k, \quad 0 \leq k < N \end{aligned} \quad (8)$$

$W_k = ae^{-j2\pi f_k \tau}$ 는 주파수 영역에서의 이상적인 채널에 대한 추정이며, a 와 τ 는 다음 식과 같이 MSE를 최소화하는 방법으로 추정한다.

$$\epsilon^2 = \langle [y(t) - ax(t - \tau)]^2 \rangle \quad (9)$$

$\langle \cdot \rangle$ 는 time-average를 표시한다.

2. 채널 모델

적용 OFDM 시스템의 성능을 평가, 분석하기 위해 적절한 다중 경로 채널을 선형 필터로 모델링 하였다. 이 선형 필터와 채널의 임펄스 응답을 그림 1에 나타내었다.

$$h(\tau; t) = \sum_l a_l(t)e^{j\theta_l(t)}\delta(t - \tau_l(t)) \quad (10)$$

여기서 a_l 은 경로 크기를 나타내며 레일리 분포를 갖고, τ_l 은 경로 도착 시간을 나타내며 θ_l 은 $[-\pi, \pi]$ 에서 일정한 분포를 갖는 경로 위상이다.

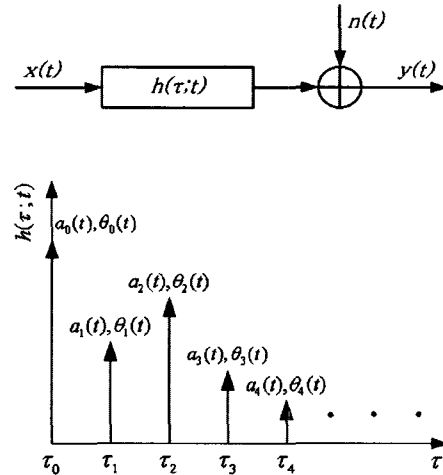


그림 1. 선형 필터와 채널의 임펄스 응답
Fig. 1. Linear filter and channel impulse response.

본 논문에서는 다중 경로 페이딩 채널을 선형 필터로 가정하고 이 필터의 계수들을 JTC (Joint Technical Committee) 채널 모델로부터 구하였다.

III. SNR 추정 기법

1. 직접추정방식

OFDM 시스템에서 주파수 영역의 심볼을 이용하여 SNR을 추정하기 위해 식 (9)를 주파수 영역에서 표현하면 다음과 같다.

$$\epsilon^2 = \langle |Z_k - W_k S_k|^2 \rangle \quad (11)$$

여기서 $\langle \cdot \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \cdot$ 을 나타낸다.

식 (11)의 우변을 전개하면 다음과 같이 표현되고

$$\epsilon^2 = |W_k|^2 \langle |S_k|^2 \rangle - W_k R_{S\bar{Z}} - W_k^* R_{\bar{S}Z} \quad (12)$$

()^{*}는 complex conjugate를 나타내며 다음과 같다.

$$R_{S\bar{Z}} = R_{\bar{S}Z}^* = \langle S_k Z_k^* \rangle \quad (13)$$

식 (12)의 ϵ^2 를 최소화하는 W_k 를 구하기 위해 정리하면 다음과 같고

$$W_k = \frac{R_{S\bar{Z}}}{\langle |S_k|^2 \rangle} \quad (14)$$

SNR은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\rho_k \equiv \frac{|W_k|^2 \langle |S_k|^2 \rangle}{\epsilon^2} \quad (15)$$

적절한 대입을 통해 SNR은 다음 식으로 추정된다.

$$\hat{\rho}_k = \frac{|R_{S\bar{Z}}|^2}{\langle |Z_k|^2 \rangle \langle |S_k|^2 \rangle - |R_{S\bar{Z}}|^2} \quad (16)$$

식 (13), (14)을 보면 직접추정 방식의 동작을 위해서는 송신 심볼 S_k 에 대한 정확한 추정이 필요하기 때문에 SNR이 낮을수록 추정의 정확성이 떨어짐을 예상할 수 있다.

2. EVM을 이용하는 방식

OFDM 시스템에서 변조기로 입력되는 데이터는 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 변조에 해당되는 비트 그룹으로 나뉘지고 각 변조 방식의 성상도를 통해 복소값으로 변환된다. 그림 2는 16-QAM에 해당하는 성상도이며 EVM에 대해 표현하였다.

그림 2에서 (I, Q) 는 수신된 복소값, (I_0, Q_0) 는 수신된 복소값으로부터 추정된 심볼값이며 P_0 는 심볼의 평균 파워를 의미하며 정규화 된 RMS 에러는 일반적으로 다음과 같이 정의된다.

$$Error_{RMS} \equiv \sqrt{\frac{(I-I_0)^2 + (Q-Q_0)^2}{P_0}} \quad (17)$$

식 (17)를 이용하여 SNR을 다음과 같은 식으로 표현

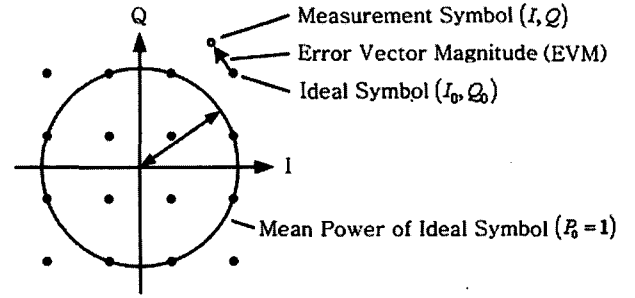


그림 2. 16-QAM 성상도와 EVM

Fig. 2. 16-QAM constellation point and EVM.

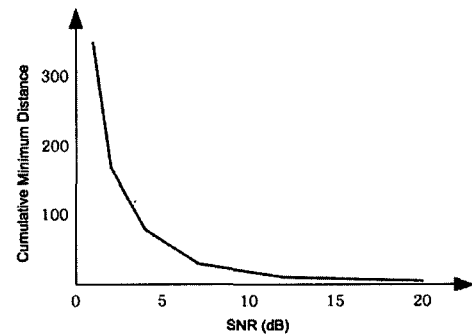


그림 3. SNR에 따른 누적 최소 거리

Fig. 3. Cumulative minimum distance with SNR.

할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{SNR} &= \frac{1}{Error_{RMS}^2} \\ &= \frac{P_0}{(I-I_0)^2 + (Q-Q_0)^2} \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)을 보면 수신된 심볼 (I, Q) 을 가지고, 송신된 심볼 (I_0, Q_0) 을 추정하기 때문에 SNR이 낮을수록 추정의 성능이 저하됨을 예상할 수 있다.

3. Viterbi 복호기의 누적최소거리를 이용하는 방식

송신단의 채널 부호화 방법으로 컨볼루션 부호기를 사용한다. 컨볼루션 부호화 된 신호 (Codeword)는 수신단에서 전송된 부호 신호와 수신된 부호 신호 사이의 MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation)를 수행하는 Viterbi 알고리즘을 이용하여 복호함으로써 채널의 영향으로 복조 과정에서 발생한 오류에 대해서 정정할 수 있다. 복호 과정에서 Trellis Diagram을 따라 가면서 누적된 최소 거리는 채널 상태를 나타내는 지표로 사용될 수 있다^[5]. 그림 3은 SNR과 누적 최소 거리의 관계를 나타낸 것으로서, SNR과 누적 최소 거리는

반비례하기 때문에 두 값 사이의 환산표를 만들어서 SNR을 간접적으로 추정할 수 있음을 알 수 있다.

이때, 낮은 SNR에서는 누적 최소 거리의 변화가 커서 이를 이용하여 정확하게 SNR을 추정할 수 있지만, 높은 SNR에서는 누적 거리의 변화가 작기 때문에 SNR 추정의 정확도가 떨어짐을 예상할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 성능평가

SNR 추정 기법과 이를 이용한 부반송파 적응 OFDM 시스템의 성능을 비교 분석하기 위한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

변조 방법으로는 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM 이 사용되며 채널 부호화는 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨볼루션 부호기를 사용하고 Viterbi 복호기는 복호 깊이가 64이고 8 레벨 연판정 (Soft-decision)을 사용한다. 데이터 부반송파는 48개이며 주파수 옵셋에 의한 위상 변화를 보상하기 위하여 파일럿 부반송파에 4개가 사용된다. 채널 대역폭이 20 MHz인 경우 64 point IFFT를 통과한 부반송파의 주파수 간격은 312.5 KHz가 되고 길이는 3.2 μ s이다. 전송되는 OFDM 한 심볼의

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Channel encoder	Convolutional encoder (K=7)
Coding rate	1/2
Channel decoder	8 level soft-decision Viterbi decoder
IFFT, FFT point	64
# of data subcarriers	48
# of pilot subcarriers	4
Guard interval	Prefix: 16
Symbol duration	4 μ s
GI duration	0.8 μ s
Channel model	JTC indoor office areas (Channel B)
Mobile speed	3 km/h
Channel noise	AWGN

표 2. JTC 실내 상업지역 채널 모델 파라미터 (채널 B)

Table 2. JTC channel model parameters for indoor office areas (Channel B).

Tab	Relative Delay (ns)	Average Power (dB)
1	0	0
2	50	-1.6
3	150	-4.7
4	300	-10.1
5	550	-17.1
6	700	-21.7

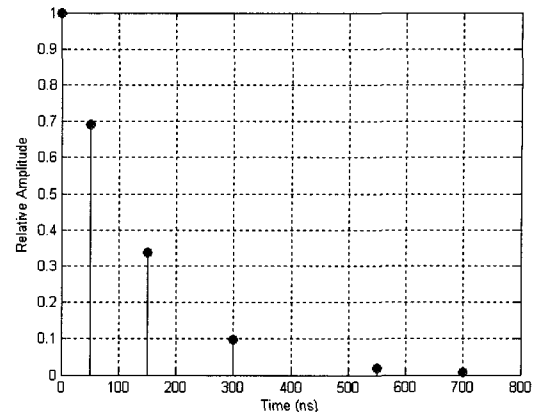


그림 4. JTC 실내 상업지역 채널 모델의 평균 전력 프로파일

Fig. 4. Mean power profile of the JTC channel model for indoor office areas.

길이 $T = 4 \mu$ s이고 심볼에서 보호 구간 길이는 0.8 μ s이며 샘플링 주기 $T_s = 50$ ns가 된다. 모바일의 속도는 3 km/h로 비교적 느린 페이딩이 발생하는 실내 환경을 가정하였다.

JTC 실내 상업지역 채널 모델 중 채널 B를 사용하였으며 시뮬레이션에서 사용하는 파라미터는 표 2와 같다^[14]. 그림 4는 표 2에서 제시한 채널 모델의 평균 전력 프로파일을 나타낸 것이다.

다중 경로는 탭 지연선 모델 (Tapped delay line)로 구현하였다. 탭의 수는 채널에 존재하는 전력 지연 프로파일의 수를 나타내고 상대 지연 (Relative Delay)은 전력 지연 프로파일이 존재하는 지연 시간이며, 평균 전력 (Average Power)은 이 지연 시간에서 전력 지연 프로파일의 평균 전력을 나타낸다. 여기서 상대 지연의 최소 시간 (50 ns)이 시간 해상도를 나타내므로 JTC 채널의 대역폭은 20 MHz 임을 확인할 수 있다. 그러므로 시스템의 대역폭이 20 MHz인 시스템은 한 탭 구간 내에 한 개의 다중 경로 성분만이 존재한다. 각 경로마다 신호 지연과 레일리 페이딩을 겪게 되며 6개의 경로를 모두 거쳐 나온 신호에 WGN (White Gaussian Noise)가 추가되어 채널 출력 신호가 된다. OFDM 심볼 사이에 ISI가 발생하지 않기 위해서 채널의 최대 지연시간은 보호 구간 길이보다 짧아야 한다.

1. SNR 추정 시뮬레이션

본문에서 제시된 각 SNR 추정기법의 성능을 비교 분석하고 이를 통해 성능이 우수한 방식을 병행해서 사용하는 부반송파 적응 OFDM 시스템을 제안한다. 그림 5는 SNR 추정의 성능을 알아보기 위해 0~25 dB의

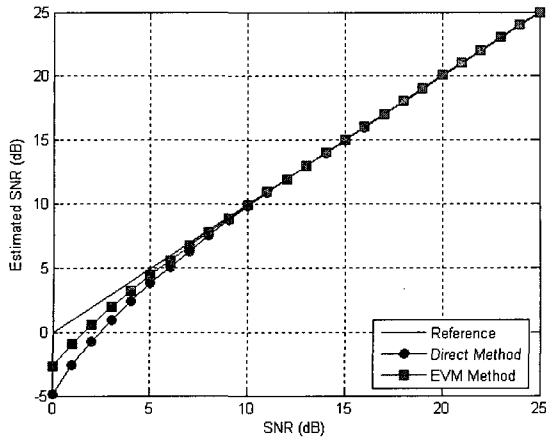


그림 5. AWGN 채널에서 직접추정 방식과 EVM 방식의 SNR 추정 성능

Fig. 5. SNR estimation performance of Direct method and EVM method in AWGN channel.

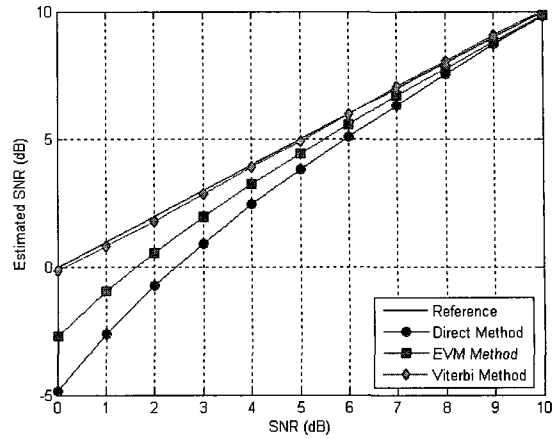


그림 7. AWGN 채널에서 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 SNR 간접추정 성능

Fig. 7. SNR estimation performance using cumulative minimum distance of Viterbi decoder in AWGN channel.

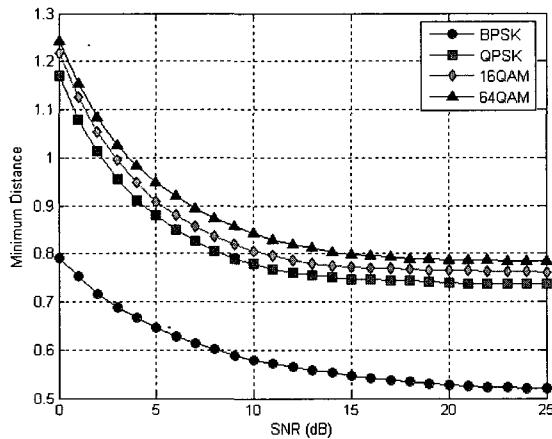


그림 6. AWGN 채널에서 Viterbi 복호기의 최소 거리

Fig. 6. Minimum distance of Viterbi decoder in AWGN channel.

AWGN SNR에 따른 직접추정 방식과 EVM 방식으로 추정된 SNR을 나타낸 것이다. 두 가지 방식 모두 약 10 dB 이하에서 SNR 추정 성능이 나빠지고 EVM 방식이 직접추정 방식보다 추정의 오차가 적다는 것을 확인할 수 있다. 추정의 오류는 SNR 추정을 이용한 적응 OFDM 시스템의 성능을 크게 저하시키기 때문에 10 dB 이하에서 추정 오차를 보상하기 위한 추가적인 방법이 요구된다.

그림 6은 AWGN 채널에서 SNR에 따른 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 부호 신호의 수로 평균한 결과로 그림 3과 같이 낮은 SNR에서 해상도가 높고 SNR이 높을수록 해상도가 낮아진다. 낮은 SNR에서의 직접 추정 방식과 EVM 방식의 SNR 추정 성능 저하를

보상하기 위한 방법으로 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리 방식을 이용한 SNR 간접추정 방식의 성능을 확인한다. 앞선 두 가지 방식에서 추정의 오차가 발생하는 10 dB를 기준으로 10 dB 이하에서 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리 방식을 이용하여 SNR 간접 추정한 결과를 그림 7에 보였으며, 10 dB 이하에서는 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리 방식의 SNR 추정 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

따라서 본 논문에서는, 부반송파 적응 OFDM 시스템을 구현하기 위하여 SNR 추정 방식으로 계산량이 적은 EVM 방식과 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 SNR 간접추정 방식을 병행해서 사용하는 부반송파 적응 OFDM 시스템 모델을 제안한다. 다음 절에서 제안한 방식의 성능을 확인하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 적응 OFDM 시스템 시뮬레이션

그림 8은 FDD (Frequency Division Duplex) 방식에 적용 가능한 시스템으로서, 채널의 SNR을 추정하여 최적의 전송효율을 만족하는 변조 방식을 결정하고 그 정보를 궤환 경로를 통하여 송신기로 전달하는 폐루프 (Closed-loop) 적응 OFDM 시스템을 보여주고 있다. 심볼 타이밍과 주파수 동기화가 완벽하고 채널 상태와 관련되어 송신기에 전달되는 정보들은 오류 없이 궤환 채널 (Control channel)을 통해서 송신기로 전달되는 것으로 가정하며 수신단에서 EVM 방식과 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 간접추정 방식을 병행하여

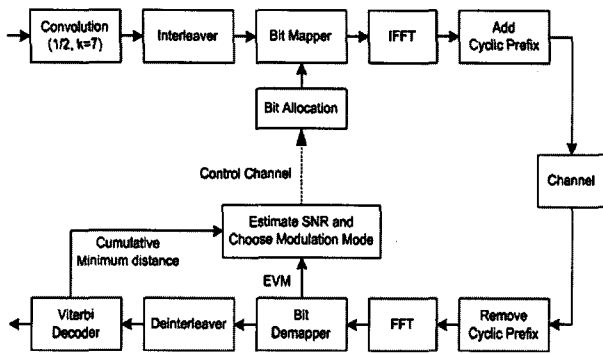


그림 8. 페루프 적응 OFDM 시스템
Fig. 8. Closed-loop adaptive OFDM system.

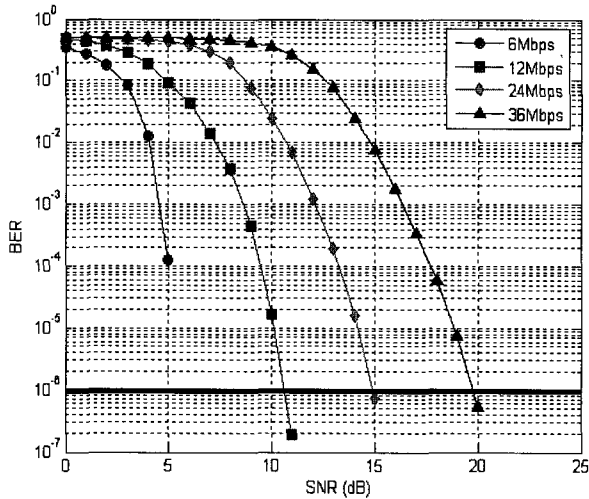


그림 9. JTC 실내 상업지역 채널 모델에서 SNR에 따른 BER
Fig. 9. BER performance in JTC channel model for indoor office areas.

SNR을 추정하고, EVM 방식으로 추정된 SNR이 10 dB 이상인 경우에는 EVM 방식의 추정 결과를 이용하고, 10 dB 이하인 경우에는 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 간접추정 방식으로 추정된 SNR 값을 이용한다.

한편, 적응 변조를 위한 문턱값의 결정은 기준 비트 오류율을 이용한 방법을 사용한다. 그림 9는 JTC 실내 상업지역 채널 모델에서 SNR에 따른 비트오류율의 변화를 보기위한 시뮬레이션을 여러 변조 방식에서 수행한 결과이다. 기준 비트오류율 10^{-6} 을 만족하는 SNR을 찾아서 적응 변조 시스템에서 변조 방식을 선택하기 위한 문턱값으로 사용한다. 표 3에 본 시뮬레이션에서 변조 방식을 결정하기 위해 사용한 문턱값을 요약하였다.

그림 10은 심볼 단위 적응 (Symbol Adaptive) OFDM 시스템, EVM 방식만을 이용한 부반송파 적응 (Subcarrier Adaptive) OFDM 시스템, 그리고 병행 추정 방식의 부반송파 적응 OFDM 시스템의 비트전송률

표 3. 적응 OFDM 시스템의 변조 방식 선택 기준
Table 3. Threshold level of modulation mode for the adaptive OFDM system.

(Target BER = 10^{-6})

Modulation	Code Rate	Data Rate (Mbps)	SNR (dB)
No Tx		0	6 이하
BPSK	1/2	6	6 ~ 11
QPSK	1/2	12	11 ~ 15
16-QAM	1/2	24	15 ~ 20
64-QAM	1/2	36	20 이상

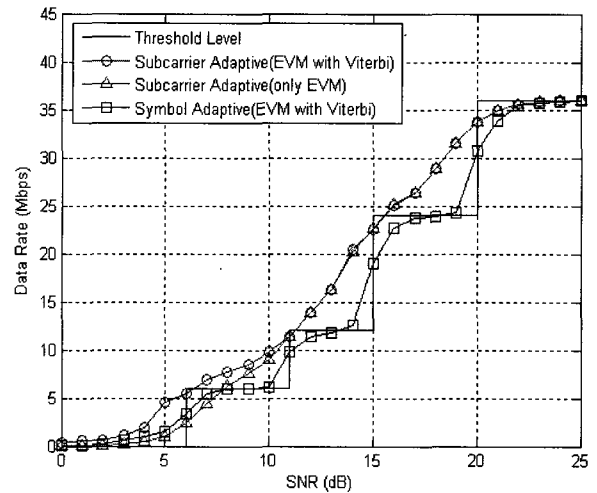


그림 10. 적응 OFDM 시스템의 비트전송률 비교
Fig. 10. Data rate comparison of adaptive OFDM systems.

을 비교한 것이다. 심볼 단위 적응 OFDM 시스템의 경우, 추정된 평균 SNR에 의해서 모든 부반송파에 동일한 변조 방식이 적용되기 때문에 비트전송률이 낮으며, EVM 방식만을 이용한 부반송파 적응 OFDM 시스템의 경우 비트전송률이 심볼 단위 적응 OFDM 시스템보다는 높지만, SNR이 10 dB 이하인 경우 EVM 방식의 SNR 추정 성능 저하로 인해 비트전송률이 감소함을 확인할 수 있다. 이를 극복하기 위해서 병행 추정 방식을 이용하면, EVM 방식으로 추정된 SNR이 10 dB 이하인 경우 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 간접추정 방식으로 보다 정확한 SNR 값을 추정할 수 있기 때문에 더욱더 높은 비트전송률을 달성할 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

기존의 OFDM 시스템은 심하게 페이딩 된 부채널의 비트오류율에 의해서 전체 시스템의 비트오류율이 결정

되는 문제점을 안고 있다. 본 논문에서는 부반송파 적응 OFDM 시스템에 적용 가능한 SNR 추정 방식들에 대해서 비교 분석하고, 정확한 SNR 추정을 위해서 새로운 병행 추정 방식을 제안하였다.

SNR을 추정하기 위한 대표적인 방식 중 직접추정 방식은 주파수 영역의 심볼을 이용하여 MSE를 최소화하는 방법으로 SNR을 추정하며, EVM 방식은 정상도 상에서 수신된 복소값과 수신된 복소값으로부터 추정된 심볼값 사이의 정규화 된 RMS 에러로부터 SNR을 추정하고, Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 방식은 복호 과정에서 Trellis Diagram을 따라가면서 누적된 누적 최소 거리가 채널 상태를 나타내는 값임을 이용하여 SNR을 간접 추정한다. 직접추정 방식과 EVM을 이용하는 방식의 경우 SNR이 낮을수록 추정의 성능이 저하됨을 확인하였다, 따라서, 수신단에서 EVM 방식과 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 간접 추정 방식을 병행하여 SNR을 추정하고, EVM 방식으로 추정된 SNR이 10 dB 이상인 경우에는 EVM 방식의 추정 결과를 이용하고, 10 dB 이하인 경우에는 Viterbi 복호기의 누적 최소 거리를 이용한 간접추정 방식으로 추정한 SNR 값을 이용하는 새로운 병행 추정 방식을 제안하였고 성능의 우수성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

부반송파 적응 OFDM 시스템은 SNR이 낮은 부채널을 통해서 저속의 전송을 하거나 전송을 하지 않고 높은 SNR을 갖는 부채널을 통해서 고속의 전송을 함으로써 다중반송파 시스템의 장점을 극대화할 수 있으며, 본 논문에서 제안한 병행 추정 방식을 이용하는 부반송파 적응 OFDM 시스템은 보다 정확한 SNR 값을 추정하기 때문에 더욱더 높은 비트전송률을 달성할 수 있었다. 최종적으로, 심볼 적응 OFDM 시스템보다 0~25 dB의 SNR 구간에서 비트전송률이 최대 7.8 Mbps, 평균 2.3 Mbps 향상되었음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 300 401, "Radio broadcasting systems: digital audio broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," Sep. 2000.
- [2] ETSI EN 300 799, "Digital video broadcasting (DVB); framing, structure, channel coding, and modulation for digital terrestrial television," June 1999.
- [3] IEEE Std 802.11a-1999, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," Sep. 1999.
- [4] ETSI BRAN, TS 101 475, "HIPERLAN Type 2; Physical (PHY) layer," Apr. 2000.
- [5] J. Heiskala and J. Terry, "OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide," pp. 48-83, SAMS, 2000.
- [6] L. Hanzo, C. L. Wong and M. S. Yee, "Adaptive Wireless Transceivers," WILEY, pp. 535-578, 2002.
- [7] W. Webb and R. Steele, "Variable rate QAM for mobile radio," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, pp. 2223-2230, July 1995.
- [8] H. Matsuoka, S. Sampei, N. Morinaga, and Y. Kamio, "Adaptive modulation systems with variable coding rate concatenated code for high quality multi-media communications systems," *Proceedings of IEEE VTC'96*, pp. 487-491, 1996.
- [9] V. Lau and M. Macleod, "Variable rate adaptive trellis coded QAM for high bandwidth efficiency applications in Rayleigh fading channels," *Proceedings of IEEE VTC'98*, pp. 348-352, 1998.
- [10] Shousheng He and Torkelson M. "Effective SNR estimation in OFDM system simulation", *IEEE Globecom'98*, pp. 945-950, Nov. 1998.
- [11] Sklar, "How I learned to Love the Trellis," *IEEE Magazine*, pp. 87-102, May 2003.
- [12] A. Czyliwik, "Adaptive OFDM for wideband ratio channels," *IEEE Globecom'96*, pp. 713-718, 1996.
- [13] Tang, C., Stolpmann, V., "An adaptive learning approach to adaptive OFDM," *IEEE WCNC. 2004*, pp. 1406-1410, March 2004.
- [14] Joint TC of Committee T1 R1P1.4 and TIA TR46.3.3/TR45.4.4 on Wireless Access, "Draft Final Report on RF Channel Characterization," Paper no. JTC (AIR)/94.01.17-238R4, Jan. 17, 1994.

저 자 소 개



김 명 익(정회원)
2002년 고려대학교
전자및정보공학부 학사
2005년 고려대학교 대학원
전자및정보공학과 석사
<주관심분야 : 무선 통신 시스템,
OFDM, SDR, Bluetooth>



안 상 식(평생회원)
1983년 고려대학교 전자공학과
학사
1985년 고려대학교 전기공학과
석사
1994년 Polytechnic Univ.
Electrical Engineering,
박사
1994년 2월~1995년 2월 LG 중앙연구소
책임연구원
1995년 3월~현재 고려대학교 전자및정보공학부
부교수
<주관심분야 : 음성신호 처리, 통신 시스템, DSP
알고리즘의 FPGA 하드웨어 구현>