

가드인터벌을 초월하는 지연프로필의 멀티패스채널에 적합한 OFDM수신시스템

An OFDM Receiver Scheme for Multipath Environment with Delay Profile over the Guard Interval

주 창 복*

Chang-Bok Joo

요 약

본 논문에서는 가드인터벌을 초월하는 지연프로필의 채널에 적합한 OFDM 수신시스템 모델에 있어서 ISI와 ICI의 영향을 제거시켜 전송특성을 개선시키는 OFDM 수신시스템 알고리즘의 동작특성을 알아보았다.

본 논문에서의 수신시스템은 시간상에서 재귀형최소2승법(RLS)에 의한 채널추정부와 ISI 및 ICI의 리플리카의 생성과 제거부로 구성되어 있다.

가드인터벌을 초월하도록 이산화한 채널모델에 대한 시간상에서의 채널추정성과 추정채널계수를 사용하여 ISI와 ICI의 제거 효과를 다루고 일반적 OFDM시스템에서의 1-탭 등화를 사용한 경우와의 BER성능을 비교하여 나타내 보였다. 특히 S/N가 낮은 경우에는 본 논문에 의한 수신시스템성능이 일반적 OFDM시스템에서의 1-탭 등화를 채용하는 수신시스템과 비교하여 BER특성이 다소 개선되어 나타남을 보여준다.

Abstract

In the present paper some fundamentals about exceeding the guard interval of an OFDM system is going to discuss and will introduce method to cancel a ISI and ICI effects.

In this paper, the performance characteristics of robust OFDM receiving system algorithm that is composed of a channel estimator using recursive least square(RLS) algorithm in time domain and of a ISI and ICI replica and subtractor using the channel coefficients are presented.

By computer simulation method, the effect of suppression of ISI and ICI is demonstrated and compared the BER performance with a conventional 1-tap equalized system. Especially the presented scheme improves the BER performance at low SNRs more or so compared with the conventional one-tap equalized receiving configuration.

Key Words : multipath channel, ISI, ICI, guard interval, channel estimator, RLS, BER

I. 서 론

최근 고속 인터넷의 급속한 보급에 따라 이동무선통신에 있어서도 대용량 멀티미디어정보가 전송 가능한 고신뢰, 고속전송기술의 실현이 과제로 되어 있다. 마찬가지로 TV를 시작으로 하는 무선에 의한 방송에 있어서도 디지털화가 진전돼 가고 있고, 여기에서도 고신뢰, 고속전송기술의 중요성이 증대하고 있다[1-3].

이러한 요구에 부응하기 위해 무선LAN, 지상파디지털 TV방송 등에 있어서 직교주파수분할다중(OFDM)이 채용되고 있다[4-7].

OFDM방식은 멀티캐리어화와 가드인터벌의 삽입에 의해 고속디지털전송에 있어 문제로 제기되어지는 멀티패스 지연스프레드의 영향을 경감시키는 방식이다[2,8].

특히 전력선 통신의 경우에서와 같은 멀티패스의 채널 환경에 있어서는 많은 접속점과 전기전자기기들의 부하점으로부터의 반사에 의해 일반적인 이동무선환경과는 다른 복잡한 양상의 신호 전송의 지연프로필 특성을 나타낸다. 즉, 2~8과 정도의 지연프로필로 모델링되는 이동무선채널에서의 전파모델과는 달리 전력선 통신의 경우에는 상기와 같은 채널로서의 환경적 특성 때문에 전송지연차가 가드인터벌을 초월할 수 있는 멀티패스의 지연프로필이 존재하며, 이러한 채널에서는 OFDM심볼 사이의 부호간 간섭(ISI) 및 동일 심볼내의 캐리어간 간섭(ICI)이 발생해서 전송특성이 크게 떨어지게 된다.

이러한 문제에 대처하기 위해서는 지연프로필에 대응해서 가드인터벌 길이를 송신측에서 적응 제어할 수 있

*경남대학교 전기전자공학부

접수 일자 : 2003. 4. 03 수정 완료 : 2003. 10. 10

논문 번호 : 2003-2-7

※이 논문은 2003년도 경남대학교 학술연구비 지원에 의해 쓰여진 것임.

는 것이 생각되어질 수 있겠으나 아울러 신호전송효율은 저하되게 된다. 송신신호의 형식을 변화시키지 않고 ISI 및 ICI를 제거하는 방법으로서 어댑티브버레이를 이용하여 지연파에 영점을 형성하는 방법이나, 다차원 격자필터를 이용해서 발생과정의 역특성을 실현하는 방법이 제안되어 있기도 하다[9].

그러나 전자의 경우에는 수신기에 복수의 안테나를 설치하기 위해 수신기의 규모가 커지게 된다는 문제와 또, 후자의 경우에는 채널변동에 따라 필터의 탭계수를 실시간적으로 추종시킬 수 있는 신호처리알고리즘의 구현이 어려운 문제가 있다.

본 논문에서는 도플러 주파수 천이는 발생되지 않고 멀티패스지연이 가드인터벌을 초월하는 채널에 있어서 ISI 및 ICI에 대한 등화처리를 행하는 OFDM수신시스템 알고리즘을 제시하고 본 알고리즘에 의한 수신시스템의 성능특성을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 평가하여 보았다.

II. OFDM 시스템

2.1 OFDM 시스템의 구성도

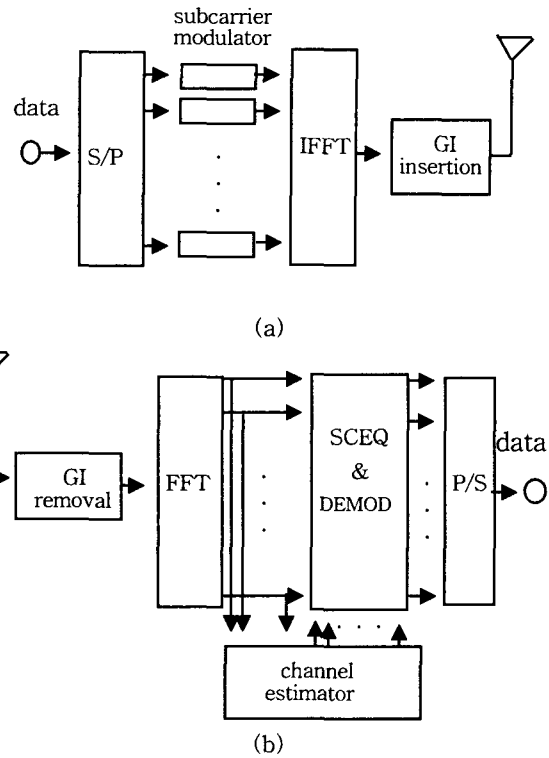
일반적인 OFDM시스템의 구성을 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)의 송신기는 데이터를 직렬/병렬(S/P) 변환을 하고 멀티캐리어 변조를 행한 후 각 서브캐리어성분을 FFT 해서 시간영역으로 변환한다. 더욱이 지연에 대한 특성을 개선하기 위해 가드인터벌을 그림 2(a)와 같이 추가한다.

OFDM시스템은 이와 같은 원리에 의해 고속의 데이터 신호를 복수의 저속신호의 합으로 전송시킴으로써 멀티패스 지연왜곡에 의한 전송특성의 열화를 경감시키게 된다.

IEEE802.11a 등의 무선 LAN 에는 FFT 주기 T_F 에 대한 길이의 1/4을 가드인터벌 길이 T_G 로 해서 삽입하는 것에 의해 TG 내의 지연신호들에 대해서 수신시의 FFT 처리로 지연파가 영향을 미치지 않도록 하고 있다 [10,11].

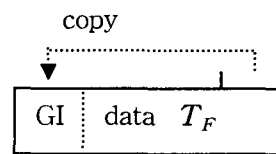
또한 일반적인 OFDM시스템의 수신기 구성을 그림 1(b)에 나타내었다. 멀티패스 채널에 있어서 전송로 왜곡을 보상하기 위해 패킷의 선두에는 채널추정용의 파일럿 신호가 삽입되어 있다. 수신기에서는 가드인터벌을 제거한 후, FFT를 행해 각 서브캐리어에 있어서 파일럿 신호를 이용해 채널추정을 행한다[11,12].

각 서브캐리어에 대해 채널추정결과를 이용해 동기검파를 시행한다. IEEE802.11a에 있어서 채널추정용 파일럿신호는 그림 2(b)와 같이 구성된다[11].



(a) 송신부 (b) 수신부
그림 1. 일반적 OFDM 시스템 블록도
(a) Transmitter (b) Receiver

Fig. 1 Block diagram of general OFDM system



$$T_G = 1/4 T_F$$

그림 2. OFDM 심볼
Fig. 2 OFDM symbol

2.2 OFDM 수신시스템의 구성

멀티패스지연이 가드인터벌을 초월하는 채널에 대한 ISI 및 ICI의 제거처리를 행하는 알고리즘에 의해 구성된 OFDM 수신시스템의 새로운 구성도를 그림 3에 나타내었다. 본 구성도는 시간상에서의 채널계수 추정기, 가드인터벌 제거후의 푸리에변환기, ISI 성분을 제거하는 판정귀환형 등화기와 그 등화 출력으로부터 ICI 제거부 및 서브캐리어 복조부로 구성된다.

수신시스템에 있어서 FFT의 심볼동기는 이상적으로 행해진다고 가정한다. 본 논문에 의한 수신시스템은, 우선 채널 추정용 프리엠블심볼에 의해 시간상에서 채널계수를 추정하고 추정된 채널계수를 데이터 구간에 대한 푸

리에 변환결과로부터 차례로 ISI와 ICI 리플리카 발생기에 적용하여 귀환적으로 수신신호로부터 ISI 및 ICI성분을 제거시켜 복조시킨 다음 비터비복호기에 의해 송신데이터 계열을 복호시키는 구조로 되어있다.

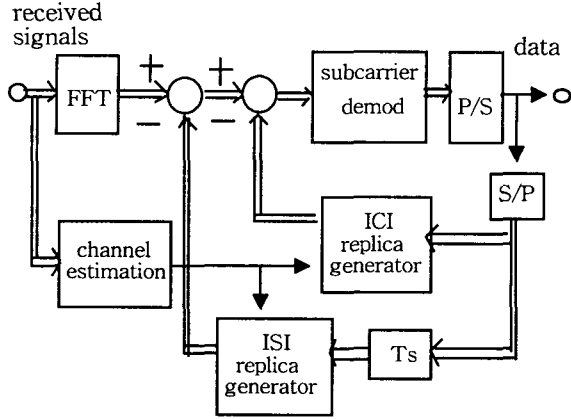


그림 3. 제안 OFDM 수신시스템
Fig. 3 Block diagram of proposed OFDM receiver system

채널계수의 추정은 프레임 단위로 하여 추정하며 ISI 및 ICI성분을 발생시키고 제거시키는 처리연산은 모든 서브캐리어에 대해 버스형태로 처리한다.

III. 수신신호 모델

3.1 시간 영역에서의 수신신호

멀티패스 지연이 가드인터벌을 넘는 채널에 대한 OFDM의 수신신호를 모델화하고, 심볼 i 의 수신 타이밍 구간 $iT_s \leq t \leq (i+1)T_s$ 에서 관측되는 시간영역의 수신신호 $r_i(t)$ 를 표현해 본다. 심볼 i 의 송신신호 $s_i(t)$ 는 각 서브캐리어에 있어서 변조신호를 $z_{i,n}$ 이라 하면 다음과 같이 나타내진다.

$$s_i(t) = \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp[j2\pi n \Delta_f (t - T_G)] \quad (1)$$

여기서 N 은 서브캐리어의 수, Δ_f 는 서브캐리어의 주파수 간격, T_s 는 심볼 주기, T_G 는 가드인터벌 길이다. 멀티패스 채널에 있어서 수신신호 $r_i(t)$ 는 패킷의 모든 심볼수를 N_i , 채널의 임펄스 응답을 $h(t)$ 로 하면

$$r(t) = \sum_{i=0}^{N_i-1} h(t) \otimes s_i(t) + n(t) \quad (2)$$

로 된다. $n(t)$ 는 부가되는 백색잡음이다. 여기에서

$h(t)$ 는 샘플링 간격 Δ_t 로 이산화할 수 있는 채널함수로서 $D+1$ 개의 전송로를 생각하면

$$h(t) = \sum_{d=0}^D h_d \delta(t - d\Delta_t) \quad (3)$$

와 같이된다. h_d 는 경로 d 에서의 복소진폭이고, $D\Delta_t$ 는 최대 지연시간이다. 여기에서는 가드인터벌 $T_G (= G\Delta_t)$ 를 초월하는 지연프로필이 존재하는 것으로 해서 $D > G$ 로 했다. 이때 $r_i(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$r_i(t) = \sum_{d=0}^G h_d s_i(t - d\Delta_t) + \sum_{d=G}^D h_d s_{i-1}(t - d\Delta_t) + n(t) \quad (4)$$

3.2 주파수 영역에서의 수신신호

식 (4)의 $r_i(t)$ 의 푸리에 변환후에 서브캐리어 m 에서 관측되어지는 수신신호 $R_i(m)$ 은

$$R_i(m) = \sum_{d=0}^G h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp(-\frac{j2\pi n d}{N}) W_n(m) + \sum_{d=0}^G h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i,n} \exp(-\frac{j2\pi n d}{N}) W_{0,d,n}(m) + \sum_{d=G}^D h_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i-1,n} \exp(-\frac{j2\pi n (d-G)}{N}) W_{-1,d,n}(m) + N(m) \quad (5)$$

와 같이 나타내진다. 여기서 식 (5)의 우변 제2항은 i 번째 심볼에서 발생하는 ICI성분이고 3번째항은 $i-1$ 번째 심볼이 i 번째 심볼에 미치는 ISI성분을 나타낸다. 위 식에서 $W_n(m)$, $W_{0,d,n}(m)$, $W_{-1,d,n}(m)$, $N(m)$ 은 각각 다음과 같이 나타내진다.

$$W_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \exp[-j \frac{2\pi(m-n)}{N} k] \quad (6)$$

$$W_{0,d,n} = \frac{1}{N} \sum_{k=d-G}^{N-1} \exp[-j \frac{2\pi(m-n)}{N} k] \quad (7)$$

$$W_{-1,d,n} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{d-G} \exp[-j \frac{2\pi(m-n)}{N} k] \quad (8)$$

$$N(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \exp(-j \frac{2\pi m}{N} k) \quad (9)$$

멀티패스 지연이 가드인터벌 이내인 경우에는 ISI, ICI가 발생하지 않으므로 식 (7), (8)은 모두 0이 되고, 식 (6)은 다음과 같이 크로네카 델타로 된다.

$$W_n = \delta_{m,n} \quad (10)$$

이것은 각 서브캐리어가 직교해서 ICI가 발생하지 않는 것에 해당한다.

IV. 채널 추정과 등화

채널함수의 추정에서는 한 프레임내에서 채널의 페이딩은 완만하게 변하는 것으로 가정하여 프레임 단위로 채널을 추정하는 것으로 한다. 즉, 프레임의 채널추정용 프리엠블 심볼구간에서 채널함수를 추정하며 채널추정기는 트랜스버설필터의 탭구조로 한다. 프리엠블심볼 i 에 있어서 채널추정기의 입력 벡터 $x(i)$ 으로부터 추정되는 각 패스의 복소진폭 \hat{h}_d 를 최대지연 시간 $D\Delta t$ 까지 채널 추정이 가능하도록 추정 채널벡터의 요소 수 L 을 D 이상으로 한다.

채널추정기의 입력 벡터 $x(i)$ 과 추정되는 각 패스의 복소진폭(트랜스버설필터의 탭 계수) \hat{h}_d 의 벡터 w 를 각각 다음과 같이 나타낸다.

$$x^T(i) = (x_0^*, x_1^*, x_2^*, \dots, x_d^*, \dots, x_L^*) \quad (11)$$

$$w^T(i) = (\hat{h}_0, \hat{h}_1, \hat{h}_2, \dots, \hat{h}_d, \dots, \hat{h}_L) \quad (12)$$

여기서 T 는 행렬의 전치를 나타낸다.

한편, 추정채널의 응답 $\hat{R}(i)$ 은 $\hat{R}(i) = w^T x(i)$ 나 같이 나타내지므로 수신신호 $R(i)$ 와의 오차 $e(i)$ 는 다음과 같이 된다.

$$e(i) = R(i) - \hat{R}(i) \quad (13)$$

즉, 수신 신호와 채널추정용의 프리엠블 심볼신호와와의 절대치 2승을 최소로 하는 MMSE(minimum mean square error)법으로 RLS 알고리즘[13]을 사용하여 최적 값 벡터 w 를 구한다. 채널 추정에서는 프리엠블로 기지간 파일럿의 신호를 사용하므로 파일럿 신호 이외의 데이터심볼에서는 프리엠블 심볼에 대한 채널 추정치를 이용하여 간섭양을 제거해간다.

식 (6) (7) (8)에 있어서 각각의 서브캐리어가 다른 서브캐리어에 미치는 간섭양을 미리 계산해 메모리에 저장해 놓는다면 계산량을 경감시킬 수 있다.

4.1 ISI의 제거

수신신호에 있어서 ISI 성분이 식 (5)의 우변 제 3항으로 나타내지므로 심볼 $i-1$ 에 대한 비터비복호기의 출력 또는 파일럿 신호 $z_{i-1,n}$ 과 채널추정기에서 추정한 복소진폭 \hat{h}_d 를 이용하면 m 번째 서브캐리어에 있어서의

ISI 리플리카 $\hat{R}_{i,ISI}(m)$ 는

$$\hat{R}_{i,ISI}(m) = \sum_{d=G}^L \hat{h}_d \sum_{n=-N/2}^{N/2} z_{i-1,n}^*$$

$$\exp(-j2\pi n \frac{(d-G)}{N}) W_{-1,d,n} \quad (14)$$

와 같이 구해지므로, 이것을 모든 서브캐리어의 수신신호에 대해 버스형태로 감산처리함으로써 ISI가 제거된다. 식 (14)의 ISI의 리플리카는 그림 3에서와 같이 한 심볼에 있어서 모든 서브캐리어분의 비터비복호기 출력을 S/P 변환하고 심볼주기만큼 지연시켜 발생한다.

4.2 ICI의 제거

근사적으로 ICI는 인접 서브캐리어에 의한 영향 정도로 생각하여 관측하고 있는 서브캐리어 m 에는 그 인접 서브캐리어 $m-1$ 과 $m+1$ 로부터의 간섭만을 국한시키면 수신신호 $R_i(m)$ 으로부터 ISI 분을 제거한 성분에 대한 리플리카 $\hat{R}_{i,ICI}(m)$ 은 비터비복호기에서 결정하는 송신 심볼 후보 $\hat{z}_{i,n}$ 과 채널추정치 \hat{h}_d 을 사용하여 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \hat{R}_{i,ICI}(m) = & \sum_{d=0}^G \hat{h}_d \sum_{n=m-1}^{m+1} \hat{z}_{i,n} \exp(-j2\pi nd) W_n(m) \\ & + \sum_{d=G}^D \hat{h}_d \sum_{n=m-1}^{m+1} \hat{z}_{i,n} \exp(-j2\pi nd) W_{0,d,n}(m) \end{aligned} \quad (15)$$

즉, 관측하고 있는 서브캐리어 m 에 있어서 식 (15)의 리플리카는 그림 3에서와 같이 비터비복호기에서 결정하는 서브캐리어 $m-1, m, m+1$ 의 송신 심볼 후보만으로 근사적으로 구한다.

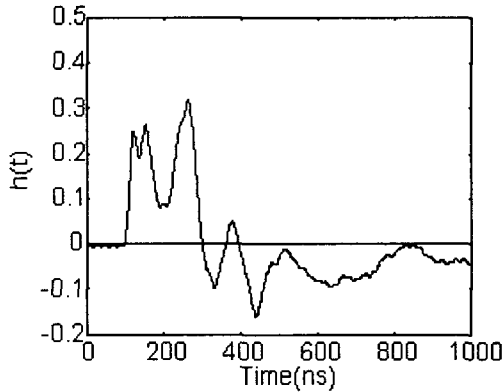
V. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션의 방법으로 ISI와 ICI의 제거 알고리즘에 의한 OFDM수신시스템의 성능을 확인하여 보았다. 컴퓨터 시뮬레이션에서는 표1에 나타나 있는 OFDM 시스템의 파라미터를 사용하였다.

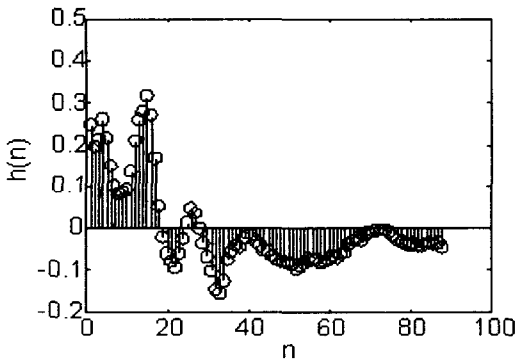
표 1. 컴퓨터시뮬레이션 파라미터
Table 4 Computer simulation parameter

| | |
|--------------------|--------------------|
| No. of subcarriers | 50 |
| freq. spacing | 0.25MHz |
| IFFT/FFT period | 4 μ s(L=256) |
| GI duration | 1 μ s(64) |
| symbol interval | 5 μ s(320) |
| data rate | 5-24Mbps |
| subcarrier mod. | BPSK QPSK 16QAM |
| channel coding | convolution(K=7) |

채널 추정용의 파일럿으로는 데이터 심볼앞에 2 심볼을 프리엠블로 삽입하였다. 한편 채널 모델은 그림 4(a)와 같이 1ns간격으로 1 μ s 동안 시간상에서 측정된 채널함수를 OFDM 심볼의 가드인터벌 샘플수(64개)를 초월하도록 그림 4(b)와 같이 10ns간격으로 샘플링하여 95개의 이산지연프로필을 얻어 멀티패스 지연이 GI이상에서도 일어나는 멀티패스가 되도록 설정하였다.



(a)



(b)

(a) 연속 채널함수 (b) 이산 채널함수

그림 4. 시험채널의 임펄스 응답

(a) Continuous channel (b) Discrete channel

Fig. 4 Impulse response of test channel

본 논문에서는 전력선 통신 채널에서와 같은 도플러 주파수편이가 없는 통신채널을 고려하였으며 채널 추정용 트랜스버설 필터의 탭 수는 95로 하여 동작 가능한 최대 지연시간을 1.5 μ s (96 Δt)로 하였다.

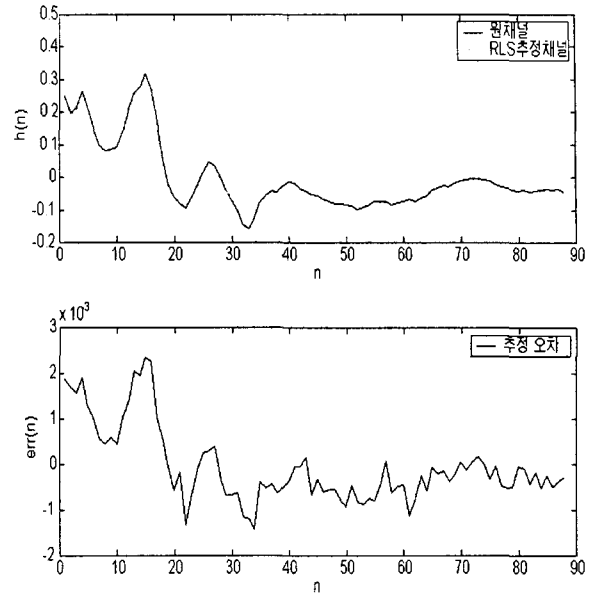


그림 5. S/N=13dB에서의 추정채널과 추정오차

Fig. 5 Estimated channel and its error at S/N=13dB

그림 5는 그림 4(b)의 테스트 채널에 대하여 S/N=13dB에서 RLS알고리즘에 의해 추정된 채널함수와 추정오차를 나타내 보인 것으로 ± 0.002 이내의 추정오차특성을 보여주고 있다. 추정오차가 ± 0.002 이내로 나타나므로 그림의 스케일에서는 실선과 점선으로 표시한 원 채널함수와 추정 채널함수사이의 구분이 없어 보인다.

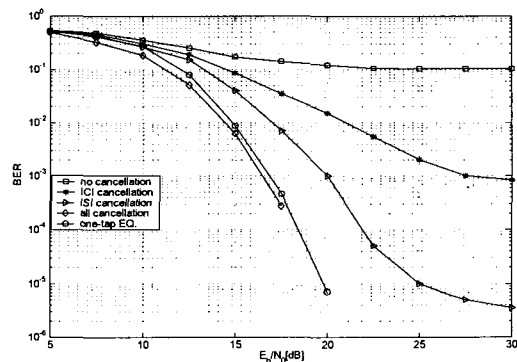


그림 6. 수신기모델의 ISI 및ICI 제거효과

Fig. 6 ISI & ICI canceling effects of receiver model

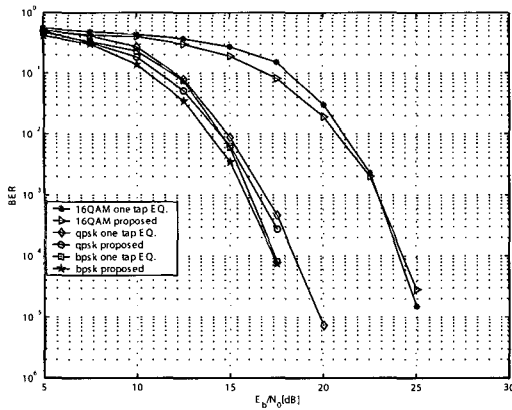


그림 7. 수신기모델의 BER 특성
 Fig. 7 BER characteristics of receiver model

그림 6은 데이터율 10Mbps에서 QPSK변조에 의한 OFDM 심볼신호에 대한 테스트 채널에서의 ISI와 ICI의 제거효과를 도시하고, 아울러 비교를 위해 일반적 OFDM 수신시스템에서의 1-탭 등화를 사용한 경우의 BER특성을 나타내었다.

이 그림에서 보는 바와 같이 ISI의 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 특히 S/N가 낮은 경우에는 ISI와 ICI를 제거시키는 본 논문에서의 수신방식이 일반적 OFDM 수신시스템에서의 1-탭 등화를 사용한 경우와 비교하여 BER특성이 다소 개선되어 나타남을 알 수 있다.

그림 7은 데이터율 10Mbps에서의 BPSK, QPSK 및 16QAM의 변조에 의한 OFDM 심볼신호의 테스트 채널에 대한 본 논문에서의 수신시스템에 의한 BER과 일반적 OFDM 수신시스템에서의 1-탭 등화를 사용한 경우의 BER특성을 나타내 보인 것이다. 그림 6에서와 같이 S/N가 낮은 경우에는 본 논문에 의한 수신방식이 1-탭 등화를 채용하는 일반적 OFDM 수신시스템과 비교하여 BER특성이 다소 개선되어 나타남을 알 수 있다.

VI. 결론

멀티패스 지연시간차가 가드인터벌을 초월하는 전송로에 있어서 수신신호에 발생하는 ISI와 ICI의 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 OFDM 수신시스템의 구성방법과 제거알고리즘에 대해 알아보았다. 또한 ISI와 ICI의 제거를 위해 시간상에서 추정하는 채널의 임펄스함수를 사용해 ISI와 ICI의 리풀리카 방법에 관해 기술하였다.

본 논문에서의 수신시스템의 성능을 확인해 보기 위하여 먼저 가드인터벌을 초월하도록 이산화한 채널모델에 대한 시간상에서의 채널추정성능과 추정채널계수를 사용하여 ISI와 ICI의 제거 효과를 나타내 보였다. 또한 10Mbps의 데이터율을 각각 BPSK, QPSK 및 16QAM로

변조하여 얻어지는 OFDM 심볼신호에 대하여 본 논문에서의 수신시스템에 의한 BER성능과 일반적 OFDM 수신시스템에서의 1-탭 등화를 사용한 경우의 BER성능을 비교하여 나타내 보였다.

특히 S/N가 낮은 경우에는 본 논문에 의한 수신시스템 성능이 1-탭 등화를 채용하는 수신시스템과 비교하여 BER특성이 다소 개선되어 나타남을 보여주었다.

본 논문에서의 수신시스템은 일반적 OFDM 수신시스템에서의 1-탭 등화를 채용하는 수신시스템과 비교하여 복잡성이 다소 증가될 것으로 생각되어지나 S/N이 낮고 가드인터벌을 초월하는 전송로에 대응시킬 수 있는 수신의 한 방식으로 생각되어진다.

참고문헌

- [1] R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 46, pp. 1775-1796, Dec. 1967.
- [2] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.
- [3] J. M. Cioffi, V. OKsman, J. J. Werner, T. Pollet, P. M. P. Spruyt, J. S. Chow, K. S. Jacobsem, "Very-high-speed digital subscriber lines", *IEEE Commun. Mag.*, Vol 37, Issue 4, pp 72-79, April 1999.
- [4] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 33, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [5] ETSI EN 300 799, Digital video broadcasting (DVB); framing, structure, channel coding, and modulation for digital terrestrial television, June 1999.
- [6] M. Alard and R. Lassalle, "Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers," *EBU Tech. Review*, n0. 24, pp.3-25, Aug. 1987.
- [7] John Terry and Juha Heiskala, "OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practicla Guide", Sams Publishing, 2002
- [8] Jim Geier, "Wireless LANs." second edition, Sams Publishing, 2002

- [9] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice Hall, 2001.
- [10] Chuang J., and N. Sollenberger, "Beyond 3G : Wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment", IEEE Comm., Mag., pp78-97, July 2000.
- [11] 김재석, 조용수, 조중휘, "이동통신용 모뎀의VLSI 설계 - CDMA, OFDM, MC-CDMA", 대영사, 2000.
- [12] Van de Beek, J. O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson, P. O. Borjesson, "On channel estimation in OFDM system." Prec. of IEEE VTC95, pp715-719, July 1995.
- [13] M. S. Grewal, A. P. Andrews, "Kalman filtering-theory and practice", Prentice-Hall, 1993.



주 창 복(Chang-bok JOO)

正會員

1975년 한국항공대학교 전자공학과(공학사)

1977년 고려대학교 전자공학과(공학석사)

1987년 고려대학교 전자공학과(공학박사)

1987년 일본 상지대 전자공학과 연구교수

1992년 미국 일리노이주립대 시카고교 전자컴퓨터공학과 객원교수

1981-현재 경남대학교 전기전자공학부 교수

관심분야 : 이동통신, 무선통신시스템/통신신호처리 및 OFDM모뎀설계
