

논문 2007-44TC-2-8

멀티패스 지연프로필의 각 수신지연파의 선두에서 OFDM 신호의 심벌 동기타이밍으로의 검출확률

(Detection Probability as a Symbol Synchronization Timing at the Lead of Each Received Delay OFDM Signal in Multipath Delay Profile)

주 창 복*, 박 동 호*

(Chang-Bok Joo and Dong-Ho Park)

요 약

본 논문에서는 곱의 상관방식과 차분상관방식의 OFDM 심벌 동기타이밍방식에 있어서 멀티패스 채널 지연프로필의 각 수신지연파에서 OFDM 심벌 동기타이밍으로 검출될 확률식을 나타내 보인다. 여러 가지 지연확산의 채널들에 대해 행해본 컴퓨터시뮬레이션의 결과 상관의 동기타이밍 검출방식에서는 진폭이 가장 큰 지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는데 대하여 차분방식에서는 언제나 제 1수신지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는 특성을 보여 준다. 이러한 결과를 통하여 본 논문에서는 채널의 지연확산 길이에 관계없이 OFDM신호의 동기타이밍을 0점과 -1점 심벌 동기타이밍을 취하는 것에서 BER의 성능차이를 보여준다.

Abstract

In this paper, we represent the maximum detection probability formulas of symbol synchronization timing at each received delay signal in multipath channel delay profile in the multiplied correlation and difference type correlated symbol synchronization timing detection method. The computer simulation results show that the correlation symbol timing detection method have maximum detection probability at the lead of received delay signal of highest amplitude, but the difference type of correlation symbol timing detection method always have maximum detection probability at the lead of first received delay signal in the multipath channel models. Using this results, we show the BER characteristics difference between the IEEE802.11a OFDM signals which is obtained in case of the symbol synchronization timing is taken at zero error(perfect) timing position and at -1 sample error symbol timing position from perfect timing position in the multipath channel models regardless the length of channel delay spread.

Keywords : OFDM, symbol timing synchronization, maximum detection probability, BER characteristic

I. 서 론

이동통신에서와 같이 멀티패스파로 인하여 발생하는 페이딩의 대책으로써 주파수축상에서 직교관계를 갖는 다수의 협대역 서브캐리어를 사용해서 전송하는 직교주

파수분할 다중(OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing)전송방식이 많은 응용에 적용되고 있다^[1]. OFDM통신방식에서는 송신측에서 멀티패스지연파의 최대지연시간을 고려해서 결정되는 보호구간(GI; Guard Interval)GI를 부가하고 수신측에서는 심벌 동기가 확립된 시점으로부터 같은 길이의 GI를 제거하여 얻어지는 유효심벌길이의 시간축신호를 FFT(Fast Fourier Transformation)하는 것에 의해 복조시키게 된다. 여기서 채널의 지연확산이 짧은 가시거리 통신에서와 같은 수신의 경우에는 통상 가장 먼저 수신되는 직접파에 심

정회원, 경남대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Kyungnam Univ)
* 본 연구는 2006년 경남대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.
접수일자: 2006년10월20일, 수정완료일: 2007년2월14일

별 동기가 이루어지게 되고 직접파에 대해서 상대적으로 지연되어 수신되는 지연신호도 보호구간내에 위치하게 되므로 심벌간간섭이나 채널간간섭은 발생하지 않는다. 그러나 지연파의 지연프로필의 선두신호파인 직접파가 제2, 제3의 지연파의 세기보다 작아지게 될 수 있는 가시거리의 통신 환경과 같은 특성의 통신채널의 경우에는 신호의 세기가 큰 수신신호파의 위치에서 통상 심벌 동기가 이루어지게 되고 송신측에서 지연파의 최대 지연시간을 고려해서 보호구간을 설정하였다 해도 ISI와 ICI가 발생하고 그로인해 오율특성이 떨어지게 된다.

GI에 대한 상기의 문제점은 이미 알려져 있고 그 대책방법으로서 채널에 부가된 잡음의 임계레벨에 따라 FFT윈도우를 본래의 타이밍보다 빠르게 취하는 방법이 제시되어 있다^[1,2,3].

본 논문에서는 채널 지연프로필에서 각 지연파의 진폭이 독립된 레일리분포를 하는 것으로 가정하고 각 지연파의 선두 진폭치를 최대상관으로 검출될 확률식을 나타내고 레일리페이딩 환경하에서 상관방식과 차분방식에서 모델화 채널의 각 지연파의 선두에서 동기타이밍점으로 검출될 확률에 대해 생각해 보았다.

또한 이러한 결과에 기초하여 모델화 채널에서 정확한 심벌 동기타이밍점(0점 심벌 동기타이밍)과 0점 심벌 동기타이밍점으로부터 1샘플빠른 심벌 동기타이밍점(-1점 심벌 동기타이밍)에서 IEEE802.11a OFDM신호의 오율성능을 비교해 보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 심벌 동기타이밍이 확립된 경우의 FFT윈도우와 심벌간 간섭의 문제에 대해 살펴보고 III장에서는 상관과 차분의 심벌타이밍 검출방식^[7]에 대해 간단히 기술한다. IV장에서는 레일리페이딩 환경하에서 각 지연파의 선두에서 동기타이밍점으로 검출될 확률에 대해 기술하고 V장에서 지연확산이 70nsec ~ 217nsec 정도로 비교적 긴 채널 모델에서 0점과 -1점 심벌 동기타이밍을 취하는 것에서 BER의 성능차이를 보여주고 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 심벌 동기타이밍 검출시점에서의 문제

1. OFDM신호의 심벌 동기

OFDM신호의 복조에서는 송신측에서 부가한 GI를 제거한 유효심벌 길이 분을 취하기 위한 FFT 윈도우 타이밍이 필요하게 된다. 즉, 수신신호의 선두를 정확히 검출하기 위한 심벌 동기가 필요하다.

OFDM신호의 심벌 동기타이밍방식으로는 지금까지 여러 방식이 제안되어 있으나 프리엠프이라 부르는 동기용 심벌을 사용한 상관검파방식이 일반적으로 이용되고 있다^[4,5,6,8]. 곱의 상관검출방식에서는 최대의 상관피크치가 얻어지는 멀티패스 지연수신파의 선두에서 심벌 동기타이밍이 검출된다. 따라서 심벌 동기타이밍이 검출되는 위치에 따라 ISI가 발생하고 오율성능의 열화를 초래할 수 있다.

2. 레이스안페이딩하에서의 보호구간

레이시안페이딩의 채널에서는 첫 번째로 도달하는 직접파의 진폭이 가장 크고, 따라서 심벌 동기타이밍은 통상적으로 첫 번째 지연수신파의 선두에서 검출되어진다. 그림 1은 최대의 진폭을 갖는 제 1지연파의 선두에서 심벌 동기타이밍이 검출되는 레이스안페이딩 채널에서의 지연파의 수신상태를 보인 것이다.

그림 1에서 N_g 는 GI길이, N_e 는 유효심벌길이, τ 는 지연파의 최대지연시간을 나타낸다. 이 경우에는 심벌 동기타이밍이 검출된 시점으로부터 GI길이를 제거하면 그림 1에서와 같이 n번째 마지막 지연파의 선두는 제 1수신파의 GI내에 있고 FFT윈도우에 포함되는 수신 합성파에는 ISI가 발생하지 않게 된다. 이와 같은 채널에서는 GI길이를 최대지연시간보다 길게 설정함으로써 ISI의 발생문제를 해결할 수 있게 된다.

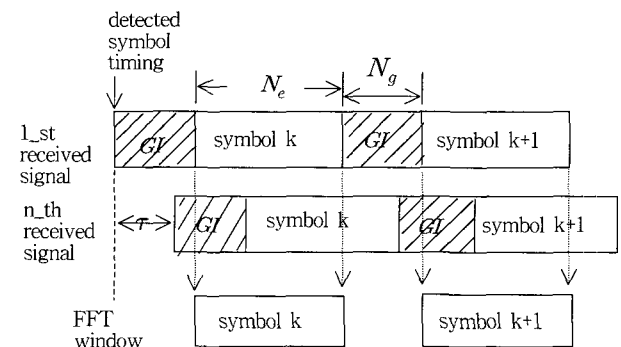


그림 1. 첫 번째 수신신호의 선두에 동기타이밍이 수립된 경우의 FFT윈도우

Fig. 1. FFT windows in case of symbol timing is taken the lead at 1st arrived delay signal.

3. 레일리페이딩하에서의 보호구간

레이리페이딩의 채널에서는 가장 먼저 도달하는 직접파보다 제2, 제3의 지연파의 세기가 더 커질 수가 있게 되고, 상관의 동기타이밍방식에서는 그림 2에서와 같이 첫 번째 지연파의 선두가 아닌 n번째 지연파의 선

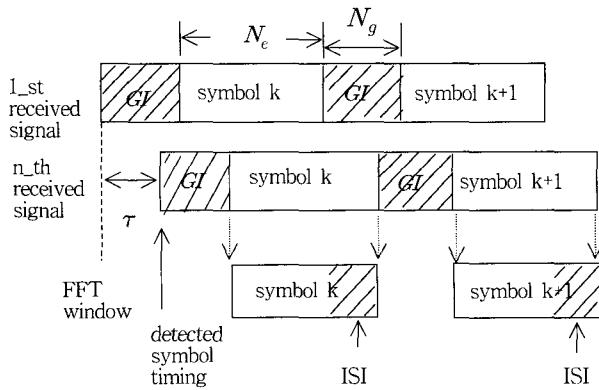


그림 2. n번째 수신신호의 선두에 동기타이밍이 수립된 경우의 FFT윈도우
 Fig. 2. FFT windows in case of symbol timing is taken the lead at n-th arrived delay signal.

두에서 동기가 수립되는 경우가 일반적으로 된다.

이와 같이 n번째 지연파의 선두에서 심벌 동기가 수립되는 경우에는 유효 FFT윈도우내에 (n-1)번째까지의 지연파가 포함될 수 있게 되고 ISI가 발생하여 복조데이터의 오율성능이 떨어지게 된다.

이러한 경우에는 송신측에서 부가하는 GI길이를 충분히 길게 설정할 수도 있겠으나 전송효율의 문제가 있고, 따라서 심벌 동기가 수립된 시점으로부터 GI길이인 N_g 보다 짧은 구간을 제거하는 것에 의해 ISI 발생을 방지할 수 있게 된다. 이것은 동기타이밍 검출시점을 앞당겨 실행하는 결과로 된다^[2]. 즉, 오율성능의 관점에서 동기타이밍점의 최적화가 이루어지는 것으로 볼 수 있다.

III. GI 검출방식

1. 상관방식

곱의 상관검출에 의한 심벌 타이밍 검출방식은 그림 3 과 같은 블록도로 나타내진다.

이 방식은 상관연산을 이용해서 상관피크의 위치를 검출하는 것에 의해 수신되는 OFDM신호에 포함되어 있는 GI를 검출하는 방식이다^[9]. 즉, 수신되어오는 n 샘플 번째의 OFDM 신호 $X(n)$ 와 FFT의 유효 심벌길이분을 지연시켜 복소공역시킨 신호 $X^*(n - N_c)$ 와의 곱을 취하고 GI길이 N_g 에 걸쳐 합을 구하는 방식으로 나타내진다.

지금 n 샘플번째의 OFDM신호의 값을 $X(n)$ 으로 하면 n 샘플번째의 GI 길이에 대한 상관값 $R_X(n)$ 은 다음의 식과 같이 표현된다.

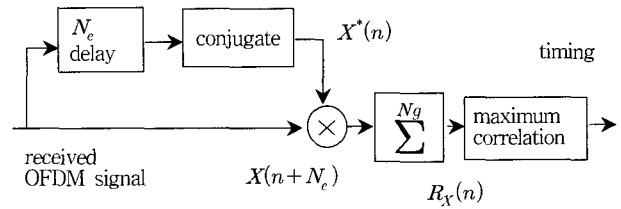


그림 3. 상관방식의 심벌 타이밍 검출방법
 Fig. 3. Symbol timing detection by correlation method.

$$R_X(n) = \sum_{n=1}^{N_c} \{X^*(n) \cdot X(n + N_c)\} \quad (1)$$

여기서 N_c 는 FFT의 주기로 유효 심벌길이분의 샘플 수, N_g 는 GI길이분의 샘플수를 나타낸다.

2. 차분방식

그림 4는 차분에 기초한 심벌 타이밍 검출방식^[7]을 보인 블록도로 채널을 통하여 수신되어진 OFDM 신호를 유효 심벌길이 N_c 만큼 지연시킨 신호와의 차분을 구한 다음 크기만을 취하여 GI길이 N_g 에 걸쳐 가산할 때 최소가 되는 위치로 GI를 검출하는 심벌 타이밍으로 결정하는 방식이다.

그림 4에서와 같이 수신 OFDM 신호와 FFT의 유효 심벌길이분을 지연시킨 신호와의 차를 구한 다음 절대치를 취하여 GI길이에 걸쳐 가산 합을 산출한다. n 샘플 번째의 OFDM 신호를 $X(n)$ 이라하면 차분신호의 특성함수인 가산합수 $D_X(n)$ 은 다음과 같이 나타내진다.

$$D_X(n) = \sum_{n=1}^{N_g} |X(n) - X(n + N_c)| \quad (2)$$

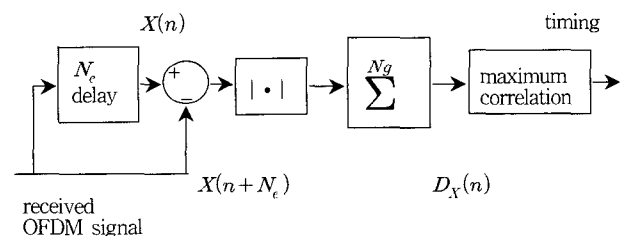


그림 4. 차분방식의 심벌 타이밍 검출방법
 Fig. 4. Symbol timing detection by difference method.

IV. 각 지연수신파의 검출확률

레이리페이딩 환경의 채널지연프로필에서 각 지연파

의 선두에서 동기 타이밍점으로 검출될 확률에 대해 생각해 본다. 채널 지연프로필 $h(n) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m \delta(n-m)$ 에서 각 지연파의 평균전력을 진폭 a_m 의 제곱으로 하는 각 지연파의 진폭이 독립된 레일리분포를 하는 것으로 가정하면, n 번째 지연파의 진폭확률밀도함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$p_n(r) = \frac{r}{\sigma_n^2} \cdot e^{-r^2/2\sigma_n^2} \quad (3)$$

여기서 σ_n 은 레일리 분포의 표준편차이고 평균전력 a_n^2 에 대해 $\sigma_n = \sqrt{a_n^2}$ 이다. 그리고 m 번째 지연파의 선두 진폭치를 최대상관으로 검출될 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

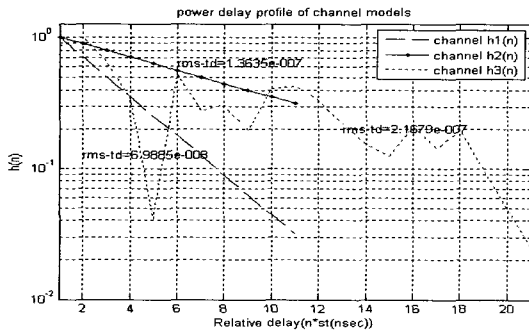
상관검출시 ;

$$P_{\max}(m) = \int_0^{\infty} p_m(r) [P_1 P_2 \cdots P_{m-1} P_{m+1} \cdots P_N] dr$$

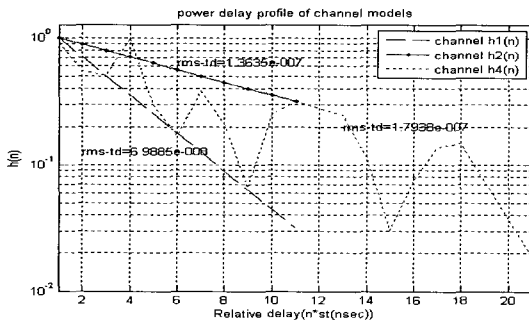
$$= \int_0^{\infty} p_m(r) \cdot \left[\prod_{k=1, k \neq m}^N \int_0^{a_m} p_k(x) dx \right] dr \quad (4)$$

차분검출시;

$$P_{\max}(m) = \left| \left(\int_0^{\infty} [p_m(r) - \prod_{k=1, k \neq m}^N \int_0^{a_m} p_k(x) dx] dr \right) \right| \cdot \prod_{k=1, k \neq m}^N \int_0^{a_m} p_k(x) dx \quad (5)$$



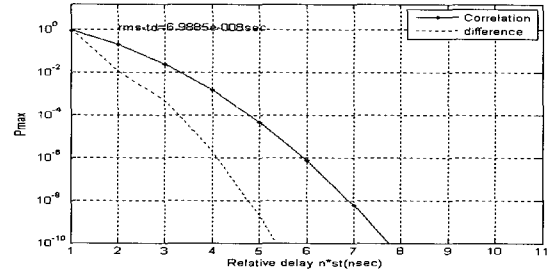
(a) Channel model h1(n), h2(n), h3(n)



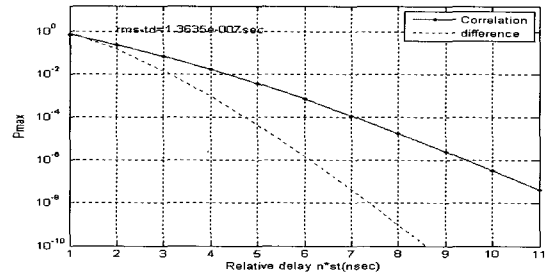
(b) Channel model h1(n), h2(n), h4(n)

그림 5. 모델화 채널과 지연확산

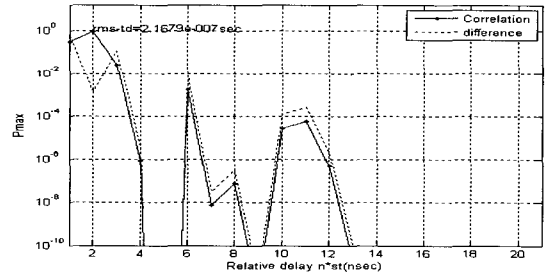
Fig. 5. Channel models and its delay spread.



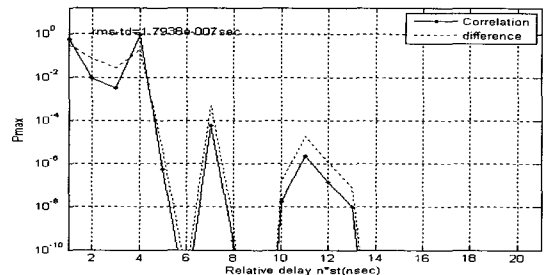
(a) Channel model h1(n)



(b) Channel model h2(n)



(c) Channel model h3(n)



(d) Channel model h4(n)

그림 6. 각 지연파에서의 심벌동기타이밍으로의 검출확률

Fig. 6. Detection probability as a symbol synchronization timing at each received delay signal.

여기서 P_1, P_2, \dots, P_N 는 각각 첫 번째, 두 번째..., N 번째 지연파의 진폭이 m 번째 지연파의 진폭치로 될 확률을 나타낸다.

그림 5는 본 연구에서 설정한 4종류의 채널모델을 보여준다. $h1(n)$ 은 지연확산이 $\sigma_r = 69.885nsec$ 의 -3dB 간격의 11파 전력지연프로필의 채널이고, $h2(n)$ 은 지연확산이 $\sigma_r = 136.35nsec$ 의 -1dB간격의 11파 전력지연프로필의 채널모델이다.

또한, $h3(n)$ 은 지연확산이 $\sigma_r = 216.79nsec$ 이고 제2지연파의 세기가 가장 큰 경우의 21파 채널모델이며, $h4(n)$ 은 지연확산이 $\sigma_r = 179.38nsec$ 이고 제4지연파의 세기가 가장 큰 경우의 21파 채널모델이다.

그림 6은 검출방식에 따라 각 지연파의 선두에서 최대의 상관값으로 검출될 확률의 계산결과를 보여준다.

그림 6에서와 같이 제 1지연파의 선두에서 동기타이밍점이 검출될 확률은 차분방식에서 모델화 채널의 종류에 관계없이 가장 높게 나타나고 있는 것과 비교하여 상관 검출의 방식에서는 채널의 종류에 따라 지연파의 세기가 큰 위치에서 검출될 확률이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 각각의 채널모델들에 대해서 구한 동기 타이밍점으로 검출될 확률의 계산결과를 비교 분석해 보인 것이 표 1이다.

표 1에서 보는바와 같이 상관방식에서는 진폭세기가 가장 큰 지연파의 선두에서 동기타이밍점을 취할 확률이 가장 높게 나타나고 있는 것과 비교하여 차분방식은 채널의 지연프로필의 특성에 구애받지 않고 첫 번째 지연 수신파의 선두에서 동기타이밍점을 취할 확률이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 차분방식과 수

표 1. 각 지연파의 선두 진폭치를 최대상관으로 검출될 확률

Table 1. Detection probability as maximum correlation at each received delay signal.

Channel models	Symbol synchronization methods	Detection probability			
		1st wave	2nd wave	3rd wave	4th wave
h1(n)	correlation	0.9546	0.2115	0.0250	0.0015
	difference	0.9991	0.0115	0.0005	0.0
h2(n)	correlation	0.7312	0.2474	0.0711	0.0175
	difference	0.8869	0.1580	0.0150	0.0009
h3(n)	correlation	0.3077	0.9075	0.0281	0.0
	difference	0.5970	0.0014	0.1149	0.0
h4(n)	correlation	0.5911	0.0096	0.0033	0.9207
	difference	0.3256	0.0799	0.0279	0.2038

정차분방식의 정확한 동기타이밍검출성능^[7]의 결과와도 잘 부합하고 있다.

V. BER 성능 비교

심벌 동기는 변조/복조가 각각 IFFT/FFT에 의해 이루어지기 때문에 필요한 것으로, 수신단에서는 N_g 개의 샘플신호를 FFT하여 복조가 이루어지므로 심벌 샘플의 시작 위치를 정확히 일치시켜야 정확한 복조가 이루어진다.

멀티패스 지연프로필의 채널에서 심벌간의 간섭을 받지 않으면서 서브캐리어사이의 직교성도 유지되는 임의의 위치에서 심벌 동기를 이루면 왜곡이 발생하지 않는다. 따라서 심벌 샘플의 복조성능에 영향을 주지 않는 심벌 오프셋의 범위는 최대 지연확산을 τ_{max} 라 하면 다음과 같이 주어진다^[2,3].

$$\frac{\tau_{max}}{T_s} - N_g < \delta \leq 0 \tag{6}$$

그림 7은 4가지 채널모델에 대해 실시한 BER성능에 관한 시뮬레이션 결과로써 0점 동기타이밍에 의한 성능(좌측 BER)과 -1점 동기타이밍에 의한 경우의 성능(우측 BER)을 비교해 보였다. 컴퓨터시뮬레이션 조건은 IEEE802.11a의 무선랜 규격으로 표 2와 같다.

샘플수 64의 IFFT/FFT주기, OFDM 심벌 보호구간은 유효 심벌길이의 1/4, 데이터 변조방식은 BPSK/QPSK/16QAM/64QAM, 데이터는 IEEE802.11a의 무선랜 규격에서와 같이 선두에 쇼트, 롱 트레이닝(short, long

표 2. 시뮬레이션 조건(IEEE802.11a)
Table 2. Simulation condition(IEEE802.11a).

symbol interval	4μsec(N=80)
No. of subcarriers	48
freq. spacing	0.3125MHz(=20MHz/64)
IFFT/FFT period	$T_{FFT} : 3.2\mu sec(N_g=64)$
GI duration	$T_{GI} : 0.8\mu sec(N_g=16)$
data rate	9-54Mbps
subcarrier mod.	BPSK/QPSK/16QAM/64QAM
training symbol GI duration	$T_{DR} : 1.6\mu sec(T_{FFT}/2)$
short traing sequence duration	$8\mu sec(10 \times T_{FFT}/4)$
long traing sequence duration	$8\mu sec(T_{GD} + 2 \times T_{FFT})$

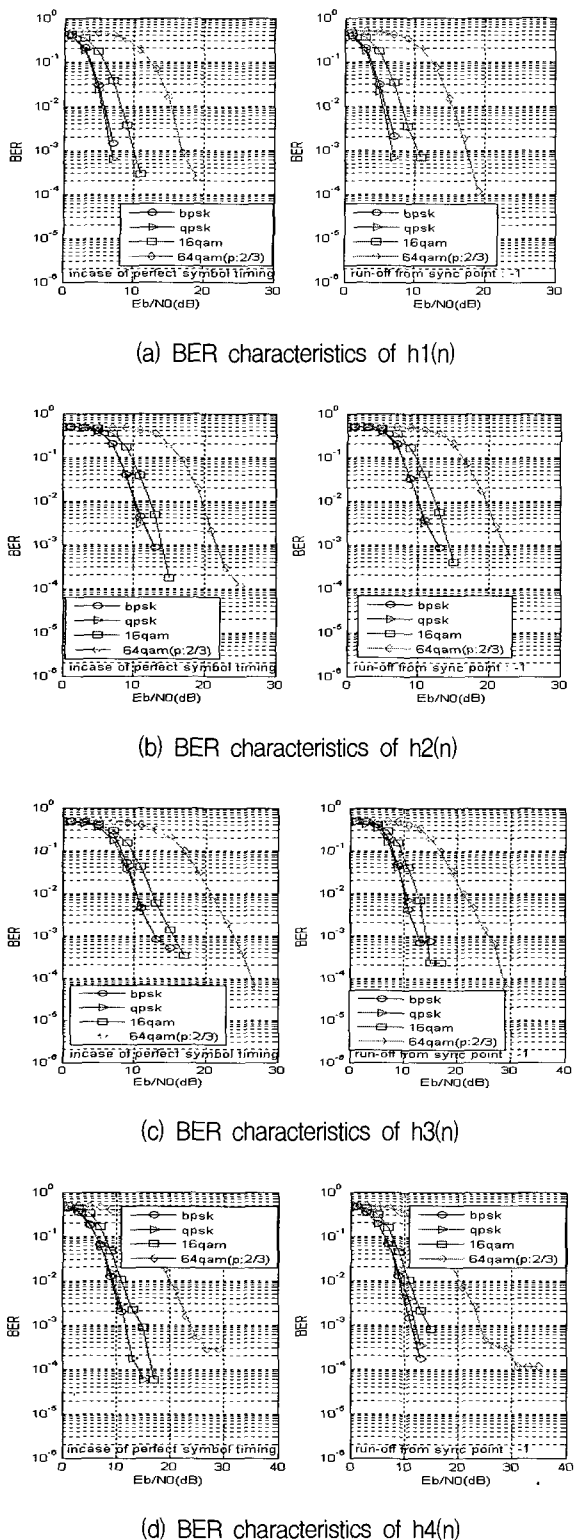


그림 7. 모델화채널에서의 BER성능

Fig. 7. BER characteristics of each channel models.

training) 심벌과 시그널심벌을 프리엠블 심벌로 부가된 프레임으로 구성하여 수행하였다.

그림 7(a)에서와 같이 다른 지연수신파들의 진폭크기에 비하여 제 1지연수신파의 크기가 가장 크고 수신

OFDM 신호의 위상회전이 1심벌내에서 $\pi/2$ 이내로 일어나는 최소 위상채널^[7,10]은 지연확산도 짧게 되고, -1점 동기타이밍에서도 0점 동기타이밍보다 나빠지지 않는 BER성능을 나타내 보이는데 대하여, 그림 7(c), (d)에서와 같이 지연확산이 길어지고 특히 제 1지연수신파 이외의 지연수신파의 크기가 커지게 되어 수신 OFDM 신호의 위상회전이 1심벌내에서 π 까지 회전하는 비최소 위상채널모델에서와 같이 심각한 ISI를 일으키는 채널에서는 64QAM의 54Mbps의 속도에서와 같이 -1점 동기타이밍점의 경우에서도 5dB정도의 eb/n0손실이 나타나고 있음을 알 수 있으며 0점과 -1점 동기타이밍점 ($-1 \leq \delta \leq 0$) 이외의 범위에서는 BER성능이 심각히 저하되어 나타나게 된다.

VI. 결론

본 논문에서는 멀티패스 채널의 지연프로필에서 각 지연파의 진폭이 독립된 레일리분포를 하는 것으로 가정하여 각 지연파의 선두 진폭치를 최대상관으로 검출될 확률식을 나타내고 레일리페이딩 환경하에서 곱의 상관방식과 차분상관방식에서 모델화 채널의 각 지연파의 선두에서 동기 타이밍으로 검출될 확률을 나타내 보였다.

또한, IEEE802.11a 표준의 OFDM 신호에 대해 정확한 동기타이밍점(0점 동기타이밍)에서의 BER성능과 정확한 동기타이밍점으로부터 1샘플빠른 심벌 동기타이밍점(-1점 동기타이밍)에서의 BER성능관계를 컴퓨터 시뮬레이션의 결과를 통하여 비교해 보였다.

여러 가지 지연확산의 채널들에 대해 행해본 컴퓨터시뮬레이션의 결과 상관의 동기타이밍 검출방식에서는 진폭이 가장 큰 지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는데 대하여 차분방식에서는 제 1수신지연파의 진폭크기가 다른 지연파에 비하여 낮게 되는 채널에서도 언제나 제 1수신지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는 특성을 나타내 보였다.

채널의 지연프로필에서 제 1지연수신파의 진폭이 가장 크고 지연확산도 짧게 되어 수신 OFDM 신호의 위상회전이 1심벌내에서 $\pi/2$ 이내로 일어나는 최소 위상채널로부터 제 1지연수신파 이외의 다른 지연파에서의 진폭크기가 가장 커지고 지연확산도 길어지게 되어 수신 OFDM 신호의 위상회전이 1심벌내에서 π 까지 회전하는 비최소 위상채널모델에서와 같이 심각한 ISI를 일으키는 채널모델들에 대해 행해본 컴퓨터시뮬레이션의 결과, 곱

의 상관 동기타이밍 검출방식에서는 진폭이 가장 큰 지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는데 대하여 차분방식에서는 제 1지연수신파의 진폭크기가 다른 지연파들에 비하여 낮게 되는 채널에서도 언제나 제 1수신지연파의 선두에서 동기타이밍을 취할 확률이 높게 나타나는 특성을 나타내 보였다.

이러한 결과를 통하여 본 논문에서는 채널의 지연확산 길이에 관계없이 적어도 $-1 \leq \delta \leq 0$ 의 범위내에서 OFDM신호의 동기타이밍을 취하는 것에서 최상의 BER 성능이 얻어지게 되는 것을 나타내 보였다.

참 고 문 헌

[1] M. Engels, "Wireless OFDM systems." Kluwer Academic Pub. 2002.
 [2] 김재석, 조용수, 조중휘 공저, "이동통신용 모뎀의 VLSI설계." 2장, 대영사, 2001.
 [3] 조용수, "무선멀티미디어 통신을 위한 OFDM기초." 대영사(2000)
 [4] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency acquisition and timing synchronization for OFDM." IEEE Trans. Commun., vol.45, No.12, pp1613-1621, Dec.1997.

[5] T. Onizawa, M. Mizoguchi, M. Morikura and T. Tanaka, "A fast synchronization scheme of OFDM signals for high-rate wireless LAN." IEICE Trans. Commun., vol.E-82-B, No.2, pp455-463, Feb.1999.
 [6] M. Luise and R. Reggiannini, "Carrier frequency acquisition and tracking for OFDM systems" IEEE Trans. Commun., vol.44, No.11, pp1590-1598, Nov.1996.
 [7] 주창복, "차분방법에 의한 OFDM 심벌 동기검출방식." 대한전자공학회 논문지 vol 43TC. No2, pp56-65, 2006.
 [8] H. Kobayashi, K. Mori and T. Nagaosa, "Proposal of symbol timing and carrier frequency synchronization methods for burst mode OFDM signal." IEICE Trans. Commun., vol.E-86-B, No.1, pp238-246, Jan. 2003.
 [9] R. V. Nee and R. Prasad, "OFDM for wireless multi-media communications", Artech House, 2000.
 [10] AT& T Bell Lab., Transmission systems for communications, 5th edition, pp 264-267, 1984.

저 자 소 개



주 창 복(정회원)
 1975년 한국항공대학교
 전자공학과 학사.
 1977년 고려대학교 전자공학과
 석사
 1987년 고려대학교 전자공학과
 박사
 1981년 3월~현재 경남대학교 공과대학
 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 디지털/RF통신시스템설계 및 통
 신신호처리>



박 동 호(정회원)
 1996년 부경대학교 전자공학과
 학사
 1998년 동아대학교
 전자통신공학과 석사
 2006년 3월~현재 경남대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : 디지털통신/RF회로설계 및 통신신
 호처리>>