

레이리 페이딩 환경에서 16QAM 시스템에서 심볼 타이밍 복원의 성능분석

Performance Analysis of Symbol Timing Recovery for 16QAM System in Rayleigh Fading

문재경* · 김영수* · 김창주*

Jae-Kyoung Moon* · Young-Su Kim* · Chang-Joo Kim*

요 약

본 논문에서는 페이딩환경에서 16QAM Radio 시스템의 심볼 타이밍 복원에 대한 성능을 분석하였다. 심볼 타이밍 복원 방식으로서 파형 성형 필터 즉 raised cosine filter(RCF)와 비선형 필터를 사용하여 비영점교차방식인 MAM(Maximum Amplitude Method)과 WDM(Wave Difference Method)을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 의한 결과로부터 비선형 필터를 사용한 심볼 동기 방식(MAM and WDM)이 RCF를 사용한 것보다 지터 성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 또한 레일리 페이딩채널을 추정하고 보상하기 위해 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation)방식과 공간 다이버시티방식을 적용하였으며, E_b/N_0 가 20dB일 때 10^{-4} 의 BER(Bit Error Rate)성능을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, we analyzed performance of a symbol timing recovery scheme for 16QAM Radio system. As a symbol timing recovery scheme, both maximum amplitude method(MAM) and wave difference method(WDM) are analyzed employing a pulse shaping filter, such as raised cosine filter(RCF) and nonlinear filter(NLF). Simulation result shows that the jitter performance of MAM or WDM using NLF is better than that using square root RCF. In order to estimate and compensate for the Rayleigh fading PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) and space diversity are also employed. Consequently, BER performance of about 10^{-4} is obtained for $E_b/N_0=20$ dB.

I. 서 론

팩시밀리와 비디오폰과 같은 데이터 통신 서비스에 대한 요구의 급증으로 디지털 셀룰러 또는 무선 전화 시스템이 개발되어져 왔다. 그러나 육상 이동

통신 서비스를 하기 위한 주파수자원이 제한적이므로 높은 전송율의 데이터 서비스를 위한 주파수 효율을 높이는 문제가 중요한 관심으로 대두되었다. QAM은 AWGN 채널에서 높은 주파수 효율을 달성하는 효율적인 방법이다[4]. 또한 수신기가 채널 상태정보(Channel State Information)를 추정할

* 한국전자통신연구소
· 논문번호 : 96-1-019
· 접수일자 : 1996년 4월 29일

수 있다면 레일리 페이딩 채널에서도 주파수 효율을 높일 수 있는 좋은 변조방식이 된다. 그래서 본 시스템에서는 주파수 효율을 높이기 위해서 16QAM을 사용하였고 CSI를 얻기 위해서 PSAM 채널사운딩 방식을 채택하였다.

한편 심볼 타이밍 복원은 디지털 데이터 전송을 위해서 필수이다. 반송과 복원은 정밀도가 높은 루비듐 발진기를 사용하여 해결하였고 위상보상은 PSAM방식으로 해결하였다. 본 논문에서는 16QAM에 알맞은 파형 성형 필터를 고려한 심볼 타이밍 복원에 초점을 두었다. 16QAM 수신기에 심볼 타이밍 방식을 적용할 때 전송단에서 사용한 파형 성형이 인접심볼간의 간섭(InterSymbol Interference)을 일으킨다. 파형 성형 방식으로 RCF를 사용하면 16QAM이 다단변조방식이기 때문에 수신단의 정합필터를 통과해서 나온 파형의 피크가 한 심볼 주기동안 최적의 샘플링점이 되지 않는다. 그래서 지터 프리 대역 제한 파형을 발생시키기 위해서 Feher와 Hwang이 제안한 비선형 필터를 사용하면 어떤 샘플점에서도 인접심볼의 영향이 없는 파형을 만들 수 있다[5].

또한 QAM 클럭 복원은 다단변조방식이므로 비영점교차방식을 사용해야 한다. 첫째로 MAM(Maximum Amplitude Method)으로서 한 심볼 주기동안 최대 크기의 평균적인 위치를 찾는 심볼 타이밍 복원방식이다. 두번째는 WDM(Wave Difference Method)으로서 한 심볼 주기동안 경사가 0이 되는 평균적인 위치를 찾는 심볼 타이밍 복원방식이다. 본 논문에서는 파형 성형 필터와 심볼 타이밍 방식을 결합하여 적용한다. 그러므로 파형 성형의 두가지의 다른 방식과 두가지의 클럭 복원방식을 결합해서 네가지의 다른 경우를 시뮬레이션한다. 이들 중 가장 성능이 좋은 결합을 16QAM Radio 시스템에 채택한다.

서론에 이어 II절은 본론으로 16QAM Radio 시스템의 구성을 기술하고 심볼 타이밍 복원 방식과 파형 성형 필터에 대해서 설명하겠다. 그리고 PSAM 방식과 다이버시티를 이용하여 신호 결합을

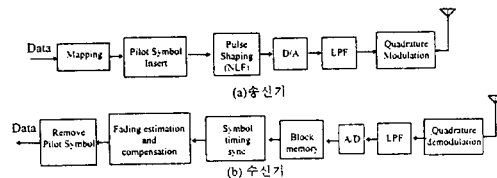
간단히 기술하겠다. III절에서는 실험 결과를 기술하고 시스템에 적용했을 때의 성능을 그림으로 표시하였다. IV절에는 결론으로 맺겠다.

II. 16QAM Radio System

2-1. 16QAM Radio 시스템의 구성

[그림 1]은 16QAM Radio 시스템에 대한 송수신기의 구성을 보여준다. 송신기에서는 먼저 기저신호에 매 16심볼마다 알고 있는 파이롯 심볼을 삽입한다. 파이롯 심볼은 신호 배열에서 $3+3j$ 를 사용하였다. III절에서 다루어지겠지만 파형 성형 방식에서는 비선형필터가 RCF보다 지터 성능이 더 우수하다. 그리고 심볼 타이밍 방식은 MAM과 WDM이 서로 비슷한 성능을 나타내므로 구현상 더 간단한 MAM을 채택하였다. 비선형필터는 지터 프리 대역제한된 파형을 만들어 내므로 심볼 타이밍 동기 성능을 향상시킨다. 또한 이 필터는 인접심볼간 간섭이 없는 파형을 만들어 낸다. 대역폭은 나이퀴스트 대역폭에서 40%정도 더 차지한다. 파형 성형후 디지털 데이터는 D/A 변환기에 의해 아날로그 신호로 변환이 되고 저역 통과 필터로 대역 제한 된다. 이러한 기저대역 신호는 1.9GHz 반송파로 변조되고 증폭한 후 전송된다.

수신기에서는 받은 기저대역 신호는 먼저 A/D 변환기로 변환되고 블록 메모리에 저장된다. 본 논문에서 심볼 전송율은 초당 16,000 심볼이다. A/D



[그림 1] 16QAM Radio 시스템에 대한 송신기와 수신기의 구성

[Fig. 1] Configuration of a transmitter and receiver for 16QAM Radio systems.

변환기의 오버샘플링율은 8이다. 그래서 초당 128,000 샘플이 된다. 심볼 타이밍 복원이 블록 단위로 수행되므로 한 블록당 최적의 심볼수를 찾아야 한다. 블록크기가 작으면 통계학적으로 최적의 샘플링점을 얻을 수 없으므로 BER 성능이 나빠진다. 반면에 블록크기가 너무 크면 한 블록내에 최적의 샘플점이 한 개로 정해지지 않는다. 왜냐하면 송신단의 A/D 변환기 샘플링 주파수와 수신단의 A/D 변환기 샘플링 주파수가 꼭 일치하지 않아서 위상 변동을 일으키기 때문이다. 그래서 안정된 타이밍을 얻을 수 있고 A/D 변환기의 샘플링 주파수의 위상 변동에도 영향을 받지 않도록 적절한 심볼수를 찾아야 한다. 본 시스템에서 심볼 타이밍 복원과 프레임 동기화는 페이딩 채널에서의 안정된 타이밍을 얻기 위해서 250개의 심볼을 고려하여 획득하였다. 레일리 페이딩 채널에서 페이딩 변수를 추정하기 위해서 2차 가우시안 보간법을 사용한다. 그리고 공간 다이버시티 효과를 얻기 위해서 MRC(Maximum Ratio Combining)를 사용한다.

2-2. 심볼 타이밍 방식과 파형 성형

2-2-1. MAM(Maximum Amplitude Method)

MAM(Maximum Amplitude Method)은 한 심볼 주기동안 최대 크기의 평균적인 위치를 찾는 심볼 타이밍 복원방식이다[1]. 구현 방법은 수신기의 입력단에서 블록 단위로 샘플들을 저장한다. MAM은 다음 식(1)과 같이 표현될 수 있다. 이 식에서 m 은 오버샘플링 갯수로서 본 논문에서는 8로 하였다. 그리고 N_a 는 한 블록내의 심볼갯수를 나타낸다. 그래서 블록내의 전체 샘플링 갯수는 $N_a \times 8$ 개이다. 여기서 $r(\)$ 는 블록 메모리에 저장된 신호를 나타낸다. $ACCUM[m]$ 은 각 샘플 위치(m)에 대해서 블록 메모리에 저장된 신호를 제공한 후 N_a 개 심볼만큼 누적시킨 것이다. 이것으로부터 가장 최대의 샘플위치를 찾는다. k 는 심볼단위이고 m 은 샘플단위이다.

$$ACCUM[m] = \sum_{k=0}^{N_a-1} |r(k \times 8 + m)|^2 \quad (1)$$

$$k = 0, 1, \dots, N_a-1$$

$$m = 0, 1, \dots, 7$$

2-2-2. WDM(Wave Difference Method)

WDM(Wave Difference Method)은 한 심볼 주기동안 경사가 0인 평균적인 위치를 찾는 심볼 타이밍 복원 방식이다[2]. 구현 방법은 수신기의 입력단에서 블록 단위로 샘플들을 저장한다. WDM은 다음 식(2)와 같이 표현될 수 있다. 이 식에서 m 은 오버샘플링 갯수로서 본 논문에서는 8로 하였다. 그리고 N_a 는 한 블록내의 심볼갯수를 나타낸다. 그래서 블록내의 전체 샘플링 갯수는 $N_a \times 8$ 개이다. 여기서 $r(\)$ 는 블록 메모리에 저장된 신호를 나타낸다. $ACCUM[m]$ 은 현재 샘플 위치에 대해서 이전 샘플 신호와 이후 샘플 신호와의 차를 구하여 제곱한 후 N_a 개 심볼만큼 누적시킨 것이다. 이것으로부터 가장 최소의 샘플위치를 찾는다. k 는 심볼단위이고 m 은 샘플단위이다.

$$ACCUM[m] = \sum_{k=0}^{N_a-1} |r(k \times 8 + m + 1) - r(k \times 8 + m - 1)|^2 \quad (2)$$

$$k = 0, 1, \dots, N_a-1$$

$$m = 0, 1, \dots, 7$$

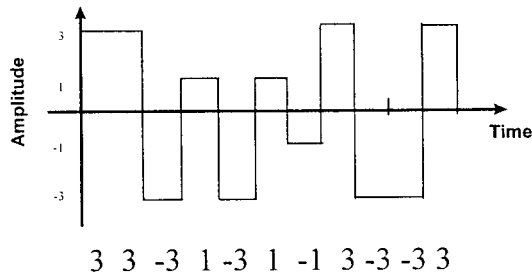
2-2-3. Raised cosine filter

Raised cosine filter는 roll-off 인자(a)에 따라서 대역폭이 달라진다[3,4]. QAM이 다단변조방식이므로 이 필터로 파형성형을 했을 때 수신단에서 정합 필터를 통과한 후의 파형이 한 심볼주기안에 최대값이 최적의 샘플링점과 일치하지 않는다. 이

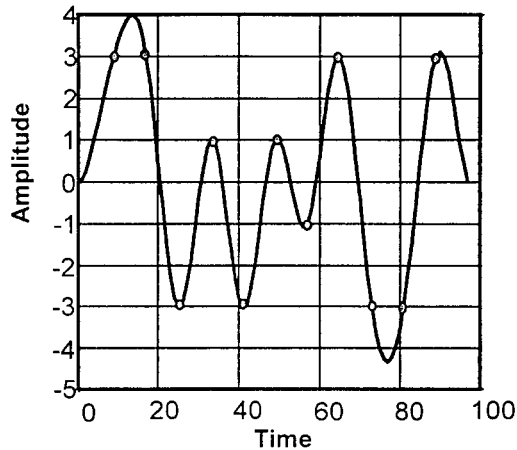
렇게 인접 심볼이 현재 심볼에 영향을 주는 파형에 대해 심볼 타이밍 동기방식을 적용하면 지터성능이 나빠진다. RCF에 대한 전달 함수는 다음 식(3)에 표현하였다.

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} \frac{\cos(\pi a t/T)}{1-4(at/T)^2} \quad (3)$$

입력 파형이 [그림 2]와 같을 때 RCF로 파형 성형 했을 때의 펄스를 [그림 3]에 나타내었다. 그림



[그림 2] 입력 파형 패턴
[Fig. 2] The input waveform pattern.



[그림 3] Raised cosine filter로 파형 성형한 펄스
[Fig. 3] The pulse shaping waveform using raised cosine filter.

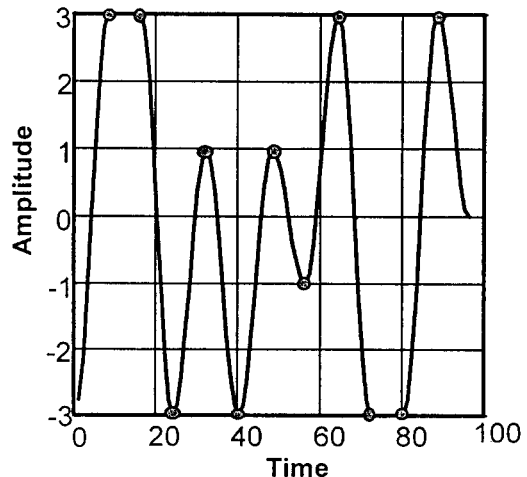
에서 원은 최적 샘플링점을 나타낸다. 여기서 피크가 최적의 샘플링점과 항상 일치하지 않음을 알 수 있다. 이는 QAM이 다단변복조 방식이므로 인접 심볼의 값이 현재 심볼에 영향을 미치기 때문이다.

2-2-4. 비선형 필터

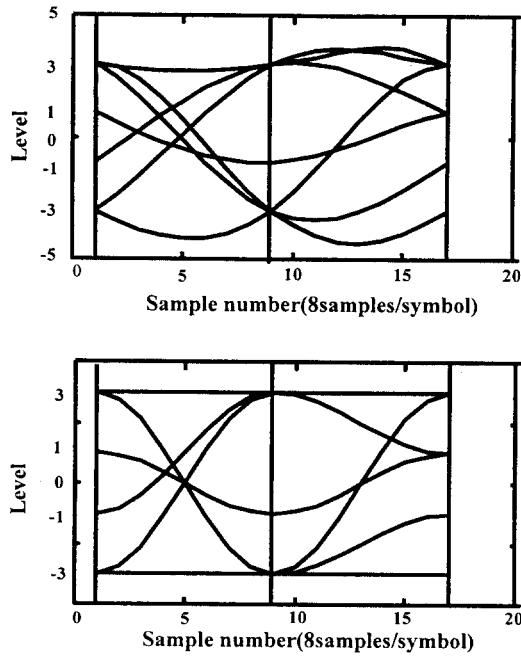
Feher와 Hwang이 제안한 비선형필터의 주파수 스펙트럼은 다음과 같다[3,4]. 이 필터의 구현은 정현 곡선을 이용하여 간단히 구현할 수 있다. 이것은 지터 프리 대역제한된 파형을 만들어내므로 심볼 타이밍 동기 성능을 향상시킨다. 또한 이 필터는 인접심볼간 간섭이 없는 파형을 만들어낸다. 대역폭이 나이퀴스트 대역폭보다 40%정도 더 차지하므로 RCF와의 지터 성능을 비교하기 위해서는 roll-off 인자를 0.4로 해야 한다[4].

$$S(f) = T \left(\frac{\sin 2\pi f/T}{2\pi f T} \frac{1}{1-4(fT)^2} \right)^2 \quad (4)$$

입력 파형이 [그림 2]와 같을 때 비선형필터로 파형 성형했을 때의 펄스를 [그림 4]에 나타내었



[그림 4] 비선형 필터로 파형 성형한 펄스
[Fig. 4] The pulse shaping waveform using non-linear filter.



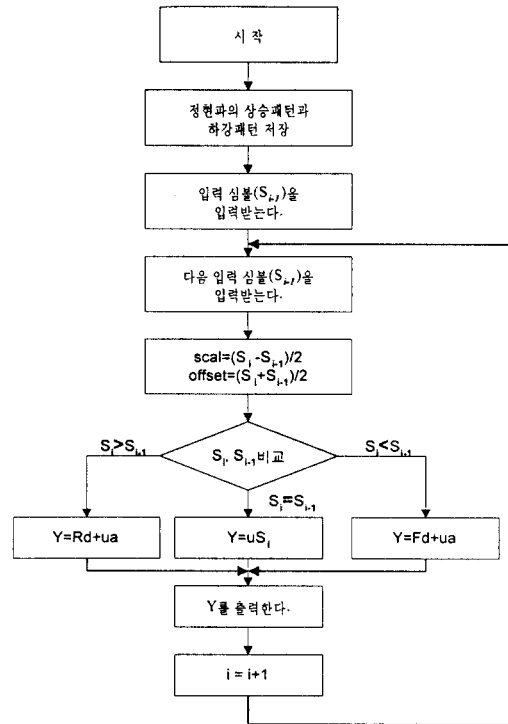
[그림 5] RCF와 NLF의 eye-diagram
 [Fig. 5] The eye-diagram of RCF and NLF.

다. 그림에서 점은 최적 샘플링점을 나타낸다. 여기서 피크가 최적의 샘플링점과 항상 일치한다. 이는 인접 심볼의 값이 현재 심볼에 영향을 미치지 않기 때문이다.

그리고 같은 입력 파형에 대해서 RCF와 NLF의 eye-diagram을 [그림 5]에 나타내었다. 수직선이 최적 샘플링점을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 RCF는 피크가 최적 샘플링점과 항상 일치하지 않는다. 그러나 NLF는 피크가 최적 샘플링점과 항상 일치한다.

2-2-4-1. 비선형 필터의 구현

구현 방법은 [그림 6]의 흐름도에서 볼 수 있듯이 정현파의 상승패턴과 하강패턴을 저장한 후 현재 심볼이 이전심볼보다 크면 식 (7)과 같이 상승패턴에 스케일을 곱한 후 DC 옵셋을 더한다. 그 반



[그림 6] 파형 성형 흐름도
 [Fig. 6] The flow of pulse shaping.

대이면 식 (8)에서처럼 하강패턴에 스케일을 곱한 후 DC 옵셋을 곱한다. 같으면 식 (9)처럼 요소가 모두 1인 열벡터에 현재 심볼을 곱한다. 이것은 현재 심볼을 그대로 출력하는 것과 같다. 정현파의 상승패턴과 하강패턴은 <표 1>에 주어져 있다. 오버 샘플링율이 8이므로 각각 여덟개씩이다.

$$scal = \frac{S_i - S_{i-1}}{2} \tag{5}$$

$$offset = \frac{S_i + S_{i-1}}{2} \tag{6}$$

$$Y = R \times scal + offset \times u \tag{7}$$

<표 1> 정현파의 상승 패턴과 하강 패턴
 <Table 1> The rising pattern and falling pattern of sine wave

| | 상승패턴(R) | 하강패턴(F) |
|---|-------------------|-------------------|
| 1 | -0.92387953251129 | 0.92387953251129 |
| 2 | -0.70710678118655 | 0.70710678118655 |
| 3 | -0.38268343236509 | 0.38268343236509 |
| 4 | 0.00000000000000 | 0.00000000000000 |
| 5 | 0.38268343236509 | -0.38268343236509 |
| 6 | 0.70710678118655 | -0.70710678118655 |
| 7 | 0.92387953251129 | -0.92387953251129 |
| 8 | 1.00000000000000 | -1.00000000000000 |

$$Y = F \times scal + offset \times u \quad (8)$$

$$Y = S_i \times u \quad (9)$$

$$u = [11111111]^T \quad (10)$$

위의 수식에서 R, F 는 정현파의 상승패턴, 하강 패턴을 각각 나타낸다. u 는 요소가 모두 1인 열벡터이다. S_i 는 현재 심볼이고, S_{i-1} 은 이전심볼을 나타낸다. Y 는 출력 벡터이다.

2-3. PSAM 방식

본 논문에서는 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation)이 반송파 위상 동기를 맞추는 뿐만 아니라 레일리 페이딩을 보상하는 역할을 한다. 먼저 프레임 동기를 찾은 후에 수신 심볼에서 파일럿 심볼을 선택하여 파일럿 심볼이 받은 페이딩 왜곡을 추정하고 이를 인터폴레이션하여 파일럿 심볼사이의 페이딩 왜곡을 추정한 후에 이것을 이용하여 정보 심볼의 페이딩 왜곡을 보상한다. 송신단 복소기저대역 신호를 $Z(t)$ 라 하면 수신된 i 번째 브랜치의 복소기저대역신호는 식 (11)과 같다.

$$U_i(t) = C_i(t) Z(t) + n_i(t) \quad (11)$$

여기에서 $n_i(t)$ 는 i 번째 브랜치의 등가 저역통과 부가성 백색잡음이고, $C_i(t)$ 는 복소 페이딩 왜곡이다. 파일럿 심볼이 수신된 순간의 페이딩 추정치 $C'_i(t)$ 는 수신된 파일럿 심볼 Z_p 로 나누어 주면 다음과 같다. 그러나 잡음에 의한 오차 때문에 $C_i(t)$ 의 정확한 값을 추정할 수 없다. 파일럿 심볼사이의 정보 심볼에 대한 왜곡은 인터폴레이션으로 구한다. 식 (13)에 주어져 있다. k 번째 프레임의 m 번째 심볼의 샘플링 순간을 $t_{k,m}$ 라 하고 $m=0$ 인 순간이 파일럿 심볼이 수신된 순간이라고 2차의 인터폴레이션을 사용하면 $t_{k,m}$ 인 순간의 페이딩 왜곡 추정치이다. $C'(t_{k-1,0}), C'(t_{k,0}), C'(t_{k+1,0})$ 는 각각 $k-1, k, k+1$ 번째 프레임의 파일럿 심볼이 받은 페이딩 왜곡이고, N 은 프레임 주기로서 16으로 하였다[5].

$$C'_i(t) = \frac{U(t)}{Z_p} = C(t) + \frac{n(t)}{Z_p} \quad (12)$$

$$C'(t_{k,m}) = Q_{-1} \left(\frac{m}{N} \right) C'(t_{k-1,0}) + Q_0 \left(\frac{m}{N} \right) C'(t_{k,0}) + Q_1 \left(\frac{m}{N} \right) C'(t_{k+1,0}) \quad (13)$$

$$Q_{-1} \left(\frac{m}{N} \right) = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{m}{N} \right)^2 - \frac{m}{N} \right) \quad (14)$$

$$Q_0 \left(\frac{m}{N} \right) = 1 - \left(\frac{m}{N} \right)^2 \quad (15)$$

$$Q_1 \left(\frac{m}{N} \right) = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{m}{N} \right)^2 + \frac{m}{N} \right) \quad (16)$$

$$0 \leq m < N-1$$

2-4. 다이버시티

다이버시티 기법을 도입하면 페이딩 보상부에서는 신호의 위상만 보상을 하고 신호의 크기는 신호 결합단에서 보정한다. 신호를 결합할 때 신호결합 방식에 따라서 각 브랜치에 곱해지는 가중치가 달라지게 되는데 본 논문에서는 MRC를 이용하였다.

MRC는 가중치가 각 브랜치의 신호의 S/N에 비례하도록 해야 하고 또한 페이딩에 의한 신호의 크기 왜곡을 보상할 수 있도록 해야 한다. 가중치는 다음 식(17)로 주어지며 가장 성능이 우수한 신호 결합방식이다[6,7,8].

$$W_i(T_{k,m}) = \frac{r'_i(t_{k,m})}{\sum_{j=1}^b r'_i(t_{k,m})^2} \quad (17)$$

여기서 $r'_i(t_{k,m})$ 는 추정된 페이딩 왜곡의 크기이다. b 는 브랜치의 수를 의미한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 토의

3-1. 심볼 타이밍 복원의 지터 성능

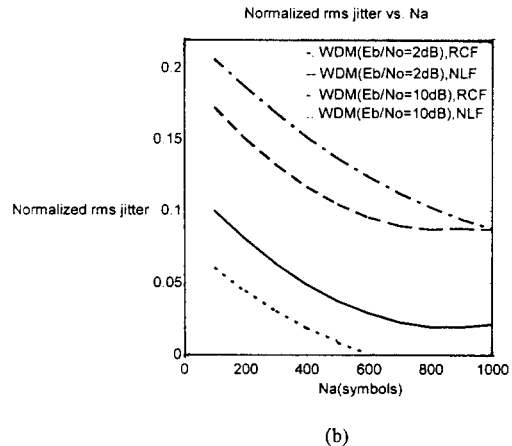
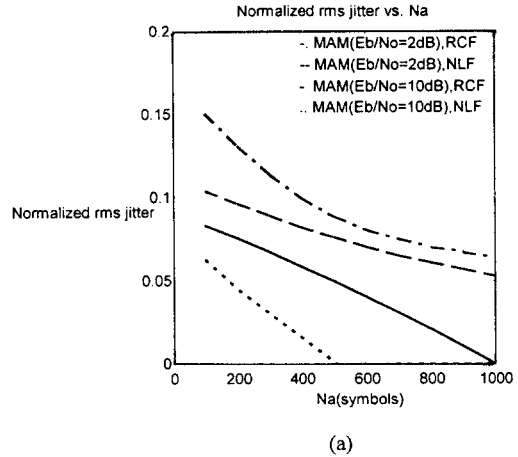
심볼 타이밍 동기 방식의 지터 성능을 얻기 위해서 네가지의 다른 경우를 시뮬레이션해 보았다. 두가지의 파형 성형 방식으로 두 개의 클럭 복원 알고리즘을 적용시킨다. 도플러 주파수는 80Hz로 하였고 심볼 전송율은 25kHz의 대역폭에 초당 16,000 심볼이다.

정규화된 RMS(Root Mean Square) 타이밍 지터 성능은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\tau_{rms}}{T_s} = \frac{1}{T_s} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} p(\tau_i) (\tau_i - \tau_{opt})^2} \quad (18)$$

여기서 τ_{opt} 는 최적 샘플점(optimum sampling point)이 되고 $p(\tau_i)$ 는 샘플링 타이밍(sampling timing)이 τ_i 일 확률이다.

[그림 7](a)는 파형 성형 필터(RCF, NLF)에 대한 MAM 방식의 RMS 지터 성능을 나타내었다. RCF의 roll-off 인자는 비선형 필터의 대역폭을 고려하여 0.4로 하였다. [그림 7](b)는 WDM 방식의 RMS 지터 성능을 나타낸다. 이 그림으로부터 두 가지의 심볼 타이밍 동기 방식이 RCF를



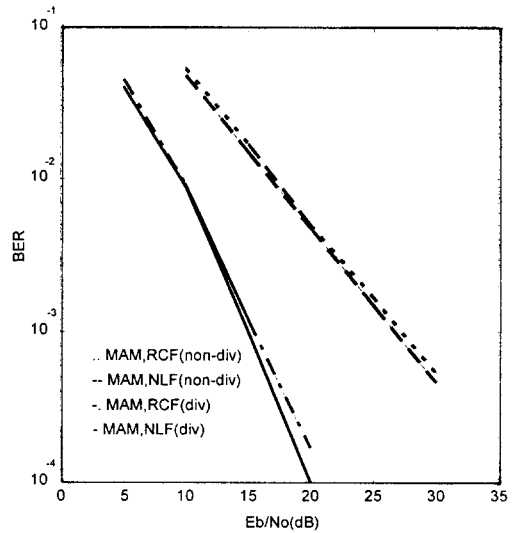
[그림 7] 정규화된 RMS 지터 대 N_a . (a) MAM에 대해서 비선형필터와 RCF 적용시 (b) WDM에 대해서 비선형필터와 RCF 적용시
[Fig. 7] Normalized rms jitter vs. N_a . (a) with NLF and RCF for MAM, (b) with NLF and RCF for WDM.

적용한 것보다 비선형필터를 적용한 것이 지터 성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 즉 비선형필터를 적용한 것이 높은 E_b/N_o (잡음 에너지에 대한 비트 에너지)에서 누적 심볼 수가 400 내지 500 정도에서 지터가 없음을 알 수 있다. 한편 심볼 타이밍 복원이 블록단위로 수행되므로 한 블록당 최적의 심

불수를 찾아야 한다. 블록크기가 작으면 통계학적으로 최적의 샘플링점을 얻을 수 없으므로 BER 성능이 나빠진다. 반면에 블록크기가 너무 크면 한 블록내에 최적의 샘플링점이 한 개로 정해지지 않는다. 왜냐하면 A/D 변환기의 샘플링 주파수가 위상 변동을 일으키기 때문이다. 그래서 안정된 타이밍을 얻을 수 있고 A/D 변환기의 샘플링 주파수의 위상 변동에도 영향을 받지 않도록 적절한 심볼수를 찾아야 한다. 시뮬레이션 결과에 의하면 16QAM에 대해서 E_b/N_0 가 10dB에서 정규화된 RMS 지터가 3×10^{-2} 미만이면 BER 성능이 저하되지 않는다. 또한 E_b/N_0 가 2dB에서 정규화된 RMS 지터가 1.5×10^{-1} 미만이면 마찬가지로 BER 성능이 저하되지 않는다. 10^{-3} 에서 10^{-1} 사이의 BER 성능을 유지하기 위해서 누적 심볼의 최소 개수(N_a)는 비선형 필터에 대해서는 250개이고 RCF에 대해서는 750 이상이 되어야 한다. 그래서 적은 심볼 수로 같은 성능을 얻을 수 있는 비선형 필터가 16QAM 심볼 타이밍 동기화 적합함을 알 수 있다. 두 가지의 심볼 타이밍 동기화 방식인 MAM과 WDM은 심볼 타이밍 동기가 완벽하다는 가정하에 BER 성능이 같다. 레일리 페이딩 추정과 보상은 심볼과 프레임 동기를 맞춘 후 각 블록에서 PSAM을 사용하여 수행된다.

3-2. 레일리 페이딩 환경에서 16QAM Radio 시스템의 BER 성능

심볼 타이밍 복원을 MAM 방식을 채택하여 두 가지의 파형 성형에 따라 시뮬레이션하였다. 레일리 페이딩 환경에서 다이버시티를 적용하지 않은 경우와 다이버시티를 적용한 경우 각각을 [그림 8]에 나타내었다. 여기서 비선형필터에 대해서는 블록당 심볼수를 250개로 했으며 RCF는 750개로 했다. 그림에서 알 수 있듯이 비선형필터가 RCF보다 500개 정도의 더 작은 심볼 개수로 더 나은 성능을 나타냄을 알 수 있다.



[그림 8] 레일리 페이딩 환경에서 BER 성능
[Fig. 8] BER Performance in Rayleigh Fading Environment.

IV. 결 론

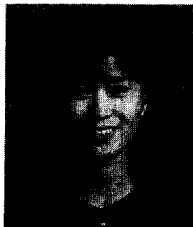
페이딩환경에서 16 QAM Radio 시스템에서 심볼 타이밍 복원에 대한 성능을 분석하였다. 심볼 타이밍 복원 방법으로서 파형 성형 필터 즉 raised cosine filter(RCF)와 Feher와 Hwang이 제안한 비선형 필터를 고려하여 비영점교차방식인 MAM(Maximum Amplitude Method)과 WDM(Wave Difference Method)이 선택되었다. 시뮬레이션에 의한 결과로부터 비선형 필터를 사용해서 심볼 동기 방식(MAM and WDM)을 적용한 것이 RCF를 사용한 것보다 지터 성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 또한 심볼 동기를 블록으로 수행하기 때문에 비선형필터에 대해서는 BER 성능을 유지하기 위해서 누적 심볼의 최소 개수(N_a)가 250개이어야 하고 RCF에 대해서는 750 이상이 되어야 한다. 그래서 본 논문에서는 더 작은 심볼 수로도 같은 성능을 얻을 수 있는 비선형 필터를 사용하여 시스템

을 구성하였으며 동기 방식으로는 MAM을 사용하였다. 그리고 레이리 페이딩 채널을 추정하고 보상하기 위해 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 방식과 공간 다이버시티 방식을 적용했다. 결과적으로 E_b/N_0 가 20dB일 때 10^{-4} 의 BER(Bit Error Rate) 성능을 얻는다.

참고 문헌

- [1] Y. Kamio and S. Sampei, "Performance of a Trellis-Coded 16QAM/TDMA System for Land Mobile Communications," *IEEE Trans. on Veh. Technol.* vol. 43, no. 3, pp. 528-536, August 1994.
- [2] 최형진, 동기방식 디지털 통신, (주) 교학사, 1995.
- [3] W. Webb and L. Hanzo, *Modern Quadrature Amplitude Modulation*, IEEE press, 1994
- [4] K. Feher, *Digital Communication Satellite/Earth Station Engineering*, Prentice-Hall, 1983.
- [5] S. Sampei and T. Sunaga, "Rayleigh Fading Compensation Method for 16 QAM in Digital Land Mobile Channels," *39th IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 640-646, May 1989.
- [6] C. J. Kim, Y. S. Kim, G. Y. Jeong, J. K. Moon and H. J. Lee, *BER Analysis of QAM with MRC Space Diversity in Rayleigh Fading Channel*, 6th IEEE PIMRC Conf., pp. 482-485, Sept. 1995.
- [7] C. J. Kim, Y. S. Kim, G. Y. Jeong, J. K. Moon and H. J. Lee, *SER Analysis of QAM with Space Diversity in Rayleigh Fading Channels*, *ETRI J.* vol. 17, no. 4, pp. 24-35, Jan. 1996.
- [8] S. Sampei and T. Sunaga, "Performance of multi-level QAM with maximal ratio combining space diversity for land mobile communications," *40th IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 459-464, May 1990.

文 裁 敬



1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (학사)
 1993년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (석사)
 1993년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파신호처리연구실 연구원

金 永 受

1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과(학사)
 1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1992년 8월 ~ 현재 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 1988년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파신호처리 연구실 선임연구원

金 昌 周



1980년 2월 : 한국항공대학 항공전자
공학과(학사)

1986년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(석사)

1993년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(박사)

1979년 12월~1983년 2월 : 국방과학연구소 연구원

1983년 3월~현재 : 한국전자통신연구소 전파신호처리
연구실장