

다중경로 페이딩 채널에서의 변복조 성능비교

Performance Comparison for MODEM in Multipath Fading Channel

전 동 근*, 박 형 근**, 이 연 우**

(Dong Keun Jeon*, Hyung Keun Park**, Yeon Woo Lee**)

요 약

미래 개인 휴대통신에서는 고속의 데이터 서비스를 위하여 높은 대역폭 효율을 요구하게 된다. 무선통신 서비스를 향상시키기 위하여 코딩기법, 변조기법, 다중화기법 등의 다양한 방법이 연구되고 있다. 이 중에서 특히 변조기법은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소가 된다.

본 논문에서 PSK, OQPSK, $\pi/4$ DQPSK, MSK, GMSK의 다섯가지 변조기법에 대한 BER성능을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션을 위한 다중경로 페이딩채널로서 3가지의 서로 다른 채널을 적용하였다. 이때 시뮬레이션을 위하여 1.544Mbps의 전송속도와 1.9GHz의 반송주파수 환경을 고려하였다. 또한 fractional 선형 등화기를 적용하여 변조방식에 따른 성능향상 정도를 비교하였다.

채널 I, II, III에 대해 각각 30dB, 20dB, 10dB 정도에서 error floor현상이 발생했으며 $\pi/4$ DQPSK가 가장 낮은 BER 특성을 보인 반면 QPSK는 가장 높은 BER을 나타냈다. 등화기를 적용했을 때는 GMSK의 성능향상이 가장 크게 나타났다.

ABSTRACT

For the future personal communication services, there is likely to be a shortage of bandwidth to cope with the large user and high-bit-rate service. Many procedures have been adopted to improve wireless communications services including speech coders, modulation techniques and a variety of multiple access techniques. In particular, Digital modulation is a important technique to determine the performance of the system.

In this thesis, 5 modulation methods of QPSK, OQPSK, $\pi/4$ DQPSK, MSK, GMSK were adopted for the simulation. For the multipath fading channel, three kinds of channels were modeled. Simulations are carried out with a carrier frequency of 1.9GHz and data rates of 1.544Mbps. The Effect of fractional linear transversal equalizer was simulated.

Error floor happens at 30dB, 20dB, 10dB in channel I, II, III, $\pi/4$ DQPSK shows lower BER and QPSK shows higher BER than the other modulations. When equalizer is adapted, GMSK shows higher BER than the other modulations.

I. 서 론

19세기말에 Bell과 Marconi가 유·무선 통신 사범을 시행한 이후로 유선통신 분야의 서비스 영역은 크게 확장되어 왔지만, 무선통신 분야는 1970년대말 셀룰라 이동통신기술이 도입되면서 급격히 발달하게 되었다. 이동통신 서비스가 점차 보편화되면서 그 서비스 대상이 고속차량뿐만 아니라 저속 보행차, 서무실 및 가정의 거주자로 확대되고 있다. 또 이렇게 보편적인 서비스가 되면서 저렴한 사용요금 및 더욱 고급스러운 음성 품질이 요구되고 있다. 따라서 고속차량 위주의 디지털 셀룰라 시스템에 이런 짐을 보완한 시스템이 강력히 요구되고 있는데, 이것이 개인휴대통신서비스 시스템이다. 또 디지털

셀룰라 시스템은 음성서비스가 위주였는데, 점차 서비스가 다양화하면서 고속 데이터 서비스의 요구가 대두되고 있다. 이런 추세에 맞춰 개인통신서비스 시스템이 고속 데이터 서비스를 수용하는 것일 필요하게 되었다.

그러나 한정된 주파수대역으로 인하여 가입자의 증대와 고속 데이터서비스의 전송에 문제점을 갖고있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 코딩기법등과 여러가지 채널 보상기법등이 사용되고 있다. 이 중에서 변복조기법은 시스템의 성능에 중요한 영향을 미친다. 따라서 스펙트럼 효율, 전력 효율, 다중경로 채널에 대한 특성, 일정한 포락선을 갖도록 하는 변조기법등에서 우수한 성능을 갖는 변조기법에 관한 연구가 필수적이다.

본 논문에서는 서로 다른 변복조방식에 대한 시뮬레이션을 통해 개인 휴대통신을 위한 최적의 변조 방식을 선택하도록 하였다. 이를 위해 데이터율은 고속 데이터 통신이 가능하도록 1.544Mbps의 데이터율을 고려하였으며 1.9GHz

* 서울인천전문대학 제어계측과 교수

** 고려대학교 전자공학과 박사과정

집수일자 : 1998년 3월 3일

의 반송파를 가정하여 채널을 모델링 하였다. 성능비교를 위해 선택된 변조 기법에는 QPSK, OQPSK, $\pi/4$ -DQPSK, MSK, GMSK로 이들은 모두 개인휴대통신 서비스를 위한 표준화 위원회인 JTC에서 잠정적으로 결정된 것에 근거를 하였다[1].

제2장에서는 다중경로 페이딩 채널에 대해 기술하였으며 시뮬레이션을 위한 3가지의 서로 다른 환경의 채널을 설정하였다. 제3장에서는 5가지의 서로 다른 변조방식에 대한 특징 및 동작특성을 기술하였다. 제4장에서는 5가지 변조 기법을 서로 다른 3가지의 채널환경에서 시뮬레이션 하므로써 각각의 환경에 따른 변조 성능을 측정하였으며 등화기를 사용하였을 때의 시스템의 성능향상을 살펴보고 변조방식에 따른 등화기의 영향을 고찰하였다. 끝으로 제5장에서 결론을 맺기로 한다.

II. 다중경로 페이딩 채널 모델링

이 장에서는 무선통신 채널의 기본적인 이론과 여러 채널 모델 중에서 본 시뮬레이션에 사용한 JTC의 Ad Hoc Group의 연구를 기초로 한 RF채널에 대해 설명한다[5].

2.1 다중경로 페이딩채널

전파가 송신단 안테나에서 발생하여 전파될 때 주위의 지형이나 건물 및 이동체에 반사, 회절, 산란에 의해 여러 경로와 지연시간을 가지고 수신단에서 수신된다. 다중경로 페이딩에 의해 진폭페이딩, 도플러 확산(Doppler spread)와 시간 지연 확산(time delay spread)과 같은 현상이 발생하는데 이 각각의 현상에 의해 채널의 특성이 규정 짓게 된다[2][3].

일반적으로 전파는 진행 중에 건물이나 장벽 등을 만나면 반사나 회절 산란 등에 의해 매우 복잡한 물리적 현상에 의해 여러 경로를 거쳐 서로 다른 진폭과 위상 및 시간 지연을 지닌채 수신단에서 수신되는 다중경로 페이딩을 겪게 되는데 이런 채널의 특성을 모델링하는데 유한 임펄스 필터(FIR filter)인 그림 1과 같은 TDL(Tap Delay Line) 필터로 표현할 수 있고 그 표현식은 아래와 같다.

$$h(t) = \sum_{m=0}^N A(t) \delta(t - t_m) e^{j\theta_m} \quad (1)$$

수식 (1)에서 $h(t)$ 는 임펄스 응답이다. 이 식에서는 4개의 변수를 지니는데 그 각각은 다음과 같다.

- N: 다중경로의 수
- $A(t)$: m번째 지연시간에서 수신되는 신호의 진폭의 크기
- t_m : m번째 수신되는 신호의 지연시간
- θ_m : 다중 경로를 통해 수신되는 위상

다중경로 페이딩에 의해 수신되는 신호의 진폭의 감쇄치의 분포가 어떤 모습을 가지냐에 따라 레일리 분포, 라이스 분포, 로그로말분포와 나카가미분포 등이 있다. 본

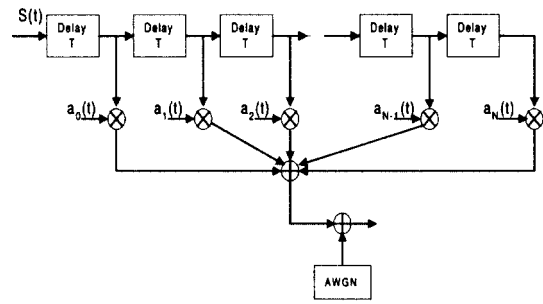


그림 1. 채널의 TDL구조

연구에서는 레일리페이딩 채널을 모델링하였고 분포식은 다음과 같다.

$$\Pr(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad r \geq 0 \quad (2)$$

사용자의 이동에 따라 수신되는 신호의 경로가 변하여 원래의 주파수보다 천이 되는 도플러현상이 발생한다. 이 현상은 그림 2에서와 같이 설명할 수 있다. 이동국 A에서 A'로 이동할 때 위상의 변화는

$$\Delta\theta = -\frac{2\pi}{\lambda} \Delta l = -\frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos\alpha \cos\beta \quad (3)$$

이다. 따라서 도플러 주파수는

$$f_d = -\frac{\Delta\theta}{2\pi\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\alpha \cos\beta \quad (4)$$

이다. 최대 도플러 주파수는

$$f_{dm} = \frac{v}{\lambda} = \frac{v \cdot f}{v_c} \quad (5)$$

이 된다. 여기서 f 는 사용주파수이고 v_c 는 빛의 속도이다.

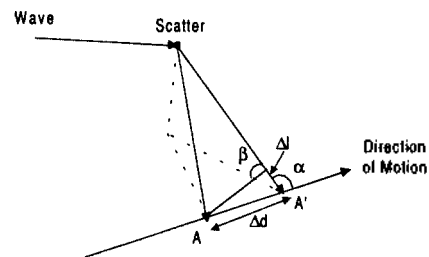


그림 2. 도플러 효과

2.2 시뮬레이션 채널발생

이 절에서는 시뮬레이션을 위한 채널 모델 권고안에 대하여 알아본다. 여러 모델 중에서 JTC의 Ad Hoc Group

의 연구를 기초로 RF채널 특성과 시스템 배치의 모델링에 대하여 설명한다.

시뮬레이션에 사용할 채널을 발생하기 위해 여러 채널 모델 중 JTC의 Ad Hoc Group의 RF 채널권고안을 기초로 하여 발생하였다. JTC의 Ad Hoc Group에서는 실질적인 환경들을 9가지 환경들로 정의하였다.

본 시뮬레이션에서는 9가지 JTC채널중 다음과 같은 3가지의 환경을 고려하였다.

- 채널 I : 실내 거주 환경으로서 한 세대 혹은 두세대가 함께 거주하는 한 가족이 그 전형적인 예이다. 색깔이 없는 많은 창들이 있고 그러한 것들은 외부의 소스들로부터의 무선 통신들이 통과해 버린다. 이러한 환경 하에서 이동속도는 보통 1.5m/s의 범위안이다.
- 채널 II : 도시 실외에서 도보를 하는 환경으로서 몇 층 정도 높이의 건물들 사이의 길을 걷는 환경으로 특정을 지을수 있다. 건물의 높이가 지붕위의 높은 곳과는 달리 방해가 되며 높은 건물들의 열은 매우 긴 경로지연이 발생할 가능성을 내포하게 된다.
- 채널 III : 실외 환경에서 도로를 차량이 주행하는 환경이다.

위에서 채널 I, II는 보행자위주의 환경으로서 이동속도는 1.5m/s 이내가 된다. 따라서 1.9GHz의 반송파를 사용하면 최대 9.5Hz의 도플러 천이가 발생한다.(Low Tier) 채널 III의 경우는 차량의 이동을 전제로 하며 이동속도는 11m/s정도이며 1.9GHz의 반송파를 사용하면 최대 71Hz의 도플러 천이가 발생한다. (High Tier)

각 지연시간에서 수신되는 신호값의 분포를 레일리 분포로 가정하였고 각 페이딩 신호의 위상은 균일한 분포를 가진다고 가정하고 발생하였다. 채널 I의 경우는 2-Ray로 모델링하였으며 채널 II, III의 경우는 3-Ray로 모델링하였다.

표 1. 채널 I, II, III의 TDL 파라미터

Tap	채널 I		채널 II		채널 III	
	지연시간 (nSec)	평균전력 (dB)	지연시간 (nSec)	평균전력 (dB)	지연시간 (nSec)	평균전력 (dB)
1	0	0	0	0	0	-3.8
2	100	-13.8	100	-6.0	100	0
3			200	-11.9	500	-6.6
4			300	-17.9	800	-1.2
5			500	-18	1300	-18.4
6			700	-25.2	1700	-23.7

* 지연시간은 3퍼센트의 오차는 허용됨.

III. 디지털 변조 방식의 특성

3.1 무선 통신을 위한 변복조 요구조건

- 전력 스펙트럼

대역폭 효율 (bandwidth efficiency) : 한정된 주파수에서 고속의 데이터 서비스를 보장하기 위하여는 동일한

대역폭내에 보다 많은 정보의 전송이 가능해야한다. 따라서 천재와 같은 이동통신환경에서는 대역폭효율이 중요한 요소가 된다.

● Out-of-Band Radiation

메인 로브밖에 얼마나 많은 신호 에너지가 분포되어 있는가는 인접 채널 간섭 (ACI: Adjacent-channel interference)과 밀접한 연관을 갖는다. 인접 채널 간섭(ACI)을 피하기 위하여 인접 채널에 미치는 전력이 60-80dB이하가 바람직하다. 따라서 main lobe가 좁을 수록 side lobe 감쇄율이 필수로 바람직하다.

● 전력효율

가능한 낮은 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)에서 좋은 성능의 BER을 얻을 수 있는 효율을 전력효율이라 부르며, 미약한 송신전력을 사용할 수밖에 없는 이동통신에서 매우 중요하다.

● 포락선 특성

대부분의 휴대용 이동통신 제품은 전력효율이 좋은 C class 증폭기를 사용한다. 하지만 이 증폭기는 높은 비선형특성을 갖는다. 비선형 증폭은 스펙트럼 상에서 sidelobe 전력을 증가시킨다. 따라서 신호가 등 포락선 (constant envelope)임을 요구한다.

● 복조방법 (Demodulation H/W의 난이도, 효율성)

동기복조가 가장 BER성능이 좋으나, 채널에 페이딩이 심할 경우는 사용하기 어려운 점이 있다. 차등복조는 동기복조보다 쉬우나, 역시 페이딩에 약하다. 판별기 복조는 BER성능에 있어 가장 나쁘나, 페이딩에 강하고 회로의 구성이 쉽고 환경에 강한 특성을 갖는다.

3.2 QPSK와 OQPSK

QPSK와 OQPSK변조방식은 스펙트럼 효율이 최고 2bit/sec/Hz이며 Nyquist filter 사용시 약 1.5 bit/sec/Hz까지도 가능하다. QPSK변조시 위상전이 $\pm\pi$ 는 진폭을 순간적으로 0을 지나가게 한다. 이 경우 진폭의 fluctuation은 ∞ 이다. 이런 신호에서의 hard limiting이나 비선형 증폭은 sidelobe를 증가시킨다. 따라서 QPSK는 선형증폭을 요구한다.

하지만 OQPSK는 주기 T마다 동시에 변하는 대신에 T/2의 간격으로 보내어 위상 번이가 T/2마다 발생하므로 위상전이가 $+90^\circ$ 이상 일어나지 않는다. 이 경우는 포락선의 변화가 QPSK보다 작게된다[4].

3.3 $\pi/4$ -DQPSK

$\pi/4$ -DQPSK[11]은 선형변조 방식의 하나로 미국(CTIA) 및 일본의 디지털 셀룰라 시스템 표준방식이다. 이 방식의 스펙트럼효율은 최고 2bits/sec/Hz 이다. $\pi/4$ DQPSK신호는 주기T마다 $\pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ 의 위상 차이를 갖는다. 그리고 진폭의 fluctuation은 8.36dB이다. 즉 QPSK의 $\pm 180^\circ$ 의

위상차이를 없애므로 필터를 통과된 이후의 진폭 변화를 현저히 감소시킨다[5][6].

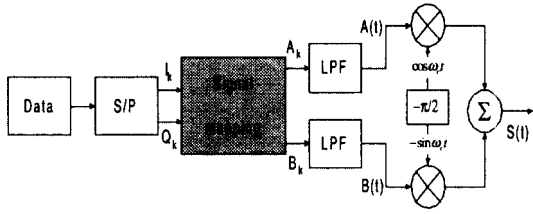


그림 3. $\pi/4$ DQPSK 송신기 블럭도

그림 3은 송신기의 블럭도를 보여준다. 그림에서 A_k 와 B_k 는 기저대역에서 I채널과 Q채널 각각에서 필터를 거치지 않은 NRZ펄스 신호의 진폭이다. A_k 와 B_k 의 신호레벨은 이전의 펄스 신호의 진폭레벨과 θ_k 로 표현되는 현재의 정보를 담고있는 심볼에 의해 결정된다.

$$\begin{bmatrix} A_k \\ B_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_k & -\sin \theta_k \\ \sin \theta_k & \cos \theta_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{k-1} \\ B_{k-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$A_k = A_{k-1} \cos \theta_k - B_{k-1} \sin \theta_k$$

$$B_k = A_{k-1} \sin \theta_k + B_{k-1} \cos \theta_k$$

식(6)에서 θ_k 는 입력정보 I_k, Q_k 의 위상에 의해 결정된다. θ_k 와 입력심볼의 관계는 위의 표에 나타나있다. A_k 와 B_k 는 $\pm 1, 0, \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 진폭을 갖고있다. 아래 그림 4는 수신기의 블럭도이다. 수신기는 채널로부터 I 와 Q 두개의 병렬 신호열을 얻는다.

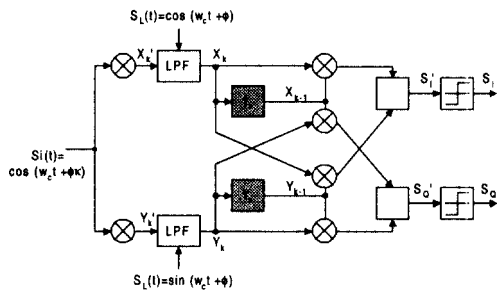


그림 4. $\pi/4$ DQPSK 복조기 블럭도

OQPSK, QPSK는 다중경로 페이딩 채널 환경하에서 코히어런트한 검출이 어렵다는 단점을 갖는다. 이에 반하여 $\pi/4$ DQPSK는 위상 차이만을 검파함으로써 코히어런트한 복조의 필요성이 없어진다(특히 다중경로 페이딩 환경하에서 장점).

3.4 MSK와 GMSK

MSK 변조 방식 - fast FSK(FFSK) - 은 constant 한 포락선과 RF 대역폭이 작고 좋은 BER 성능을 갖고 있기 때문에 비선형 디지털 무선 통신 시스템에서 효과적인 변조 방식이다.

QPSK 및 OQPSK의 mainlobe는 $\pm \frac{1}{2T_b}$ 폭을 갖고 있고, MSK 신호의 mainlobe는 $\pm \frac{3}{4T_b}$ 폭을 갖게 되어 MSK의 mainlobe가 약 50% 넓다. 그러나 큰 $\frac{f-f_c}{f_b}$ 값에서는, MSK 스펙트럼은 f^{-4} 에 비례하여 감소하고 QPSK 및 OQPSK는 f^{-2} 에 비례하여 감소한다[7]. 따라서 99% 전력 대역폭을 비교하게 되면, MSK는 약 $\frac{1.2}{T_b}$, QPSK 및 OQPSK는 약 $\frac{8}{T_b}$ 임을 알 수 있고, 이것은 MSK가 효율적인 대역폭을 갖고 있음을 보여준다.

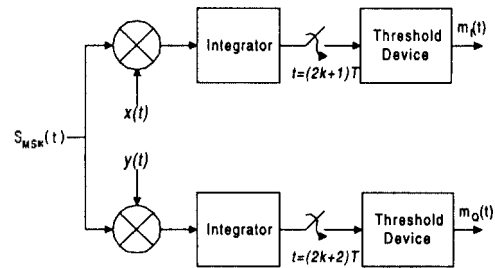


그림 5. MSK 수신기

그림 5는 MSK의 수신단의 블럭이다. 수신된 신호(잡음과 ISI가 없는) $S_{MSK}(t)$ 는 각각 in-phase 성분 $x(t)$ 와 quadrature-phase 성분 $y(t)$ 가 곱해진 후 $2T_b$ 로 적분되고, 그리고 나서 샘플링 및 decision하여 $m_k(t), m_q(t)$ 를 검출함을 보여준다.

GMSK는 가우시안 필터링된 MSK방식으로 유럽의 차세대 디지털 셀룰라 표준(GSM, DECT)으로서 보다 일반적인 Constant Phase FSK (CP-FSK) 혹은 디지털 FM 변조방식의 한 방법이다. GMSK는 MSK으로서 (변조지수 = 0.5) FM 변조하기 전에 가우시안 형태의 스펙트럼을 지닌 필터를 거쳐 인접채널 emission요구사항을 만족시켜 극단적으로 sidelobe 특성이 우수한 방식이다[8].

복조방식으로는 동기 및 비동기 복조방식 모두 가능하다. GMSK와 MSK를 동기 복조방식에서 비교하면 $BT = 0.25$ 에서 GMSK가 약 0.7dB 손실을 입는다. 유럽의 GSM 표준 방식규격은 $BT = 0.3$ 으로 되어있다. 이때 BT 는 가우시안 필터의 정규화된 대역폭이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 장에서는 SPW를 이용하여 앞에서 설명한 시스템에 대한 모의 실험을 통한 성능 평가 결과를 나타낸다.

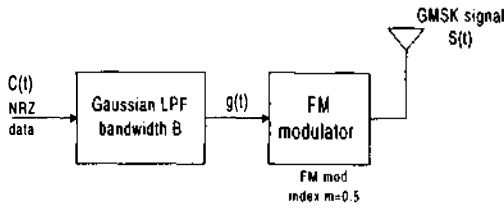


그림 6. GMSK 송신기

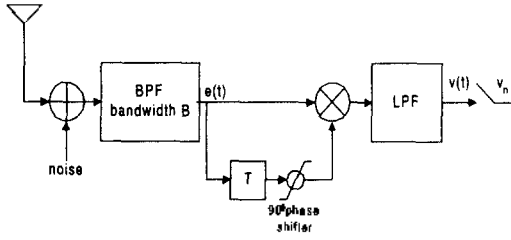


그림 7. GMSK의 1비트 차동 검출기

4.1 변조조 성능분석

변조방식에 따른 BER 성능분석은 제2장에서 제시하는 채널 I, II, III에 대하여 시뮬레이션 하였다. 먼저 그림 8은 AWGN 환경하에서의 BER 곡선을 그린 것이다. AWGN 환경하에서는 QPSK와 OQPSK과 유사한 성능을 보였으며 다른 변조방식에 비하여 가장 우수한 성능을 나타냈다. 반면에 GMSK는 다른 변조방식에 비해 가장 높은 BER 특성을 보여주고 있다. QPSK, OQPSK, $\pi/4$ DQPSK에 대해서는 roll off 값이 0.5인 raised cosine 필터를 이용하였다. 따라서 그림 8의 결과는 참고문헌[]에서와는 다소의 차이를 보이고 있다.

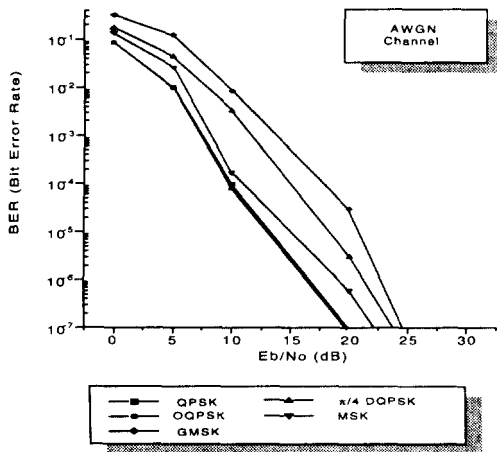


그림 8. AWGN 채널에서의 Eb/No에 따른 어려움

채널 I 은 2-Ray로 모델링하였고 채널 II, III는 3-Ray로 모델링하여 시뮬레이션하였다. 채널 I, II, III 모두 낮은 Eb/No에서는 AWGN채널환경에서의 유사한 성능을 보였지만 Eb/No가 커짐에 따라 AWGN에 의한 영향보다

는 다중경로 페이딩 채널에 의한 영향이 커지므로 AWGN에서와는 다른 성능을 보였다.

실내 거주환경인 채널 I에서는 다른 채널에 비해 낮은 BER을 나타내고 있다. 이는 반사파 성분의 지연시간이 한 데이터주기 이내로 발생하며 상대 전력이 작음으로 인해 반사파의 영향이 매우 적게 나타나기 때문이다. 30dB~40dB에서부터는 Eb/No이 증가해도 BER이 감소하지 않는 error floor 현상이 발생하였다. BER이 가장 낮은 $\pi/4$ DQPSK와 가장 높은 OQPSK와는 40dB에서 약 1dB 정도의 BER 차이를 보이고 있다.

채널 II에서는 약 20dB 정도부터 error floor 현상이 나타났다. 채널 I에 비하여는 약 2.5dB 정도의 큰 BER 증가가 생겼다. $\pi/4$ DQPSK가 가장 낮은 BER을 보여주고 있으며 채널 I에서와는 달리 QPSK가 가장 높은 BER을 나타내었다.

채널 III의 BER이 다른 채널에 비해 크게 증가하고 있음을 볼 수 있는데 이는 차량의 고속이동으로 인한 채널의 변화가 심하게 일어나고 높은 도플러편이가 발생하며 1700nSec까지의 큰 지연시간을 갖는데 기인한다.

10dB 정도의 낮은 Eb/No에서 error floor 현상이 나타나는데 이는 BER의 증가가 결국 ISI의 증가를 동반하게 되므로 다중경로 페이딩 채널 특성이 강한 채널 III의 경우에 Eb/No를 높여도 BER이 크게 향상되지 않았다.

모든 채널에서 공통적으로 실내와 실외환경 모두에서 Eb/No가 증가함에 따라 $\pi/4$ DQPSK의 BER이 가장 크게 감소함을 알 수 있다. 따라서 다중경로 페이딩 채널하에서 $\pi/4$ DQPSK의 BER 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. AWGN 채널 환경에서 가장 우수한 성능을 보였던 QPSK와 OQPSK의 경우는 다중경로 페이딩 환경인 채널 I, II, III 모두에서 다른 변조조 방식에 비해 BER 성능이 좋지 못했다. 특히 채널 I에서는 OQPSK가 가장 높은 BER을 나타낸 반면 채널 II, III에서는 QPSK가 가장 높은 BER 특성을 나타내어 다중경로 성분이 강해 질수록 QPSK에 비하여 OQPSK가 더욱 좋은 BER 성능을 가짐을 알 수 있다.

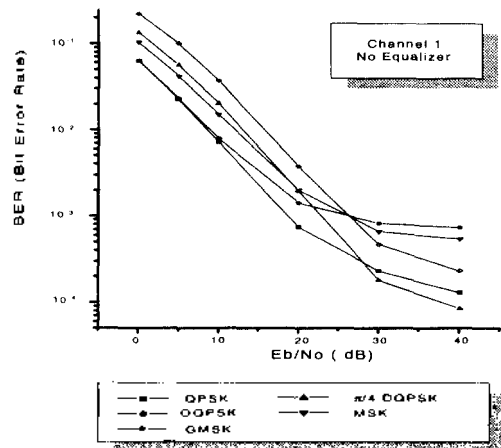


그림 9. 채널 I에서의 Eb/No에 따른 어려움

실내 거주지 환경인 채널 I에서는 OQPSK의 BER이 가장 높아 다른 변복조 방식에 비해 성능이 떨어졌으며 실외환경인 채널 II, III에서는 QPSK의 BER성능이 가장 나쁘게 나타났다.

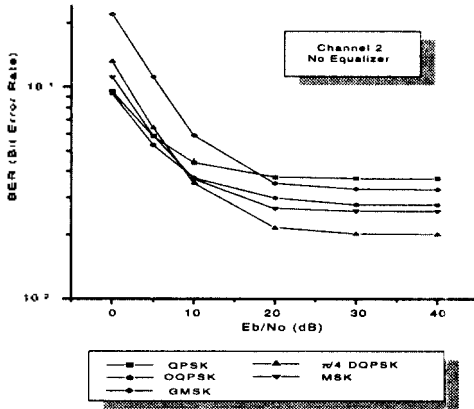


그림 10. 채널 II에서의 Eb/No에 따른 에러율

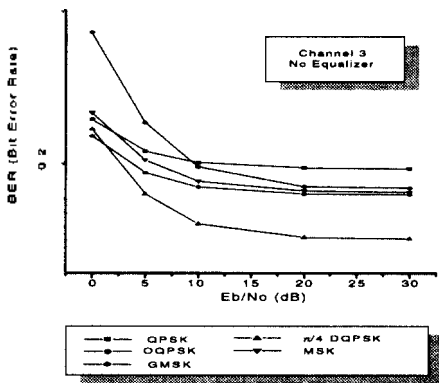


그림 11. 채널 III에서의 Eb/No에 따른 에러율

4.2 등화기를 적용한 시뮬레이션 및 결과

본 시뮬레이션에서는 Fractional 구조를 갖는 선형 적응 등화기를 사용하였다. 전체의 탭수는 16개로 정했으며 한 데이터 주기동안 4개의 탭이 되도록 탭간의 지연을 설정하였다.

채널 II, III 모두 등화기를 사용했을 때, 등화기를 사용하기 이전에 비해 전체적으로 약 2~3dB 정도의 BER감소가 일어났다. 이러한 BER의 감소는 다중경로 채널에 의해 발생하는 ISI가 등화기에 의해 크게 제거된데 기인한다[9].

채널 II에서는 등화기를 사용하지 않았을 때보다 등화기를 사용했을 때 error floor가 시작되는 시점인 Eb/No가 30dB에서 2.5dB정도의 BER감소가 발생했다. 30~40dB 정도에서 error floor 현상이 발생했는데 이는 등화기를 사용하지 않았을 때에 비해 약 15dB정도 높은 Eb/No에서 발생하는 것으로서 Eb/No의 증가에 따른 BER감소 효

과가 더욱 크게 나타났다.

채널 III에서도 등화기를 사용하지 않았을 때보다 등화기를 사용했을 때 채널 II에서와 비슷한 정도의 BER감소가 발생하였다. 등화기를 사용하지 않았을 때는 채널 II보다 약10dB정도 낮은 Eb/No에서 error floor 현상이 발생했지만 등화기를 사용했을때는 채널II에서와 비슷한30~40dB정도에서 error floor 현상이 발생했다.

등화기의 사용여부에 관계없이 π/4 DQPSK의 BER성능이 가장 우수하게 나타나고 있다. QPSK는 다른 변복조 방식에 비해 등화기 사용에 의한 BER감소가 더욱 뚜렷이 나타났다. 반면에 GMSK의 경우 등화기를 사용했을 때 다른 변복조 방식에 비해 BER이 가장 높게 나타났다.

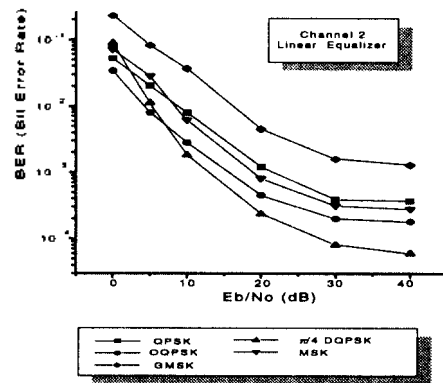


그림 12. LE를 사용했을 때 채널 II에서의 Eb/No에 따른 에러율

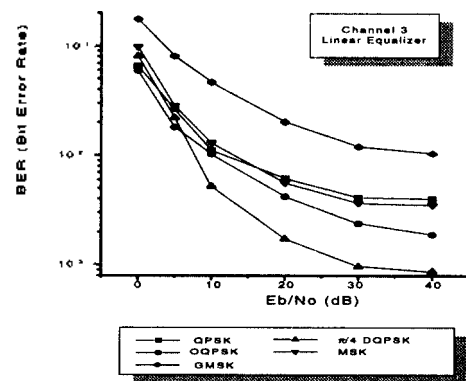


그림 13. LE를 사용했을 때 채널 III에서의 Eb/No에 따른 에러율

V. 결 론

앞에서 각 변조 방식에 대한 스펙트럼 성능과 다중경로 페이딩 환경하에서의 BER성능을 살펴보았다. 스펙트럼 측면에서보면 GMSK가 가장 우수한 성능을 보였으며 비선형 증폭기 출력에 대한 스펙트럼을 보면 GMSK뿐 아니라 OQPSK역시 우수한 성능을 보였다. GMSK의 경우는 등 포락선(constant envelope)을 유지함으로 인해 비선형 증폭시에 증폭율에 따른 Side Lobe의 발생이 거의

없었다.

채널 I, II, III 모두 낮은 E_b/N_0 에서는 AWGN 채널 환경에서와 유사한 성능을 보였지만 E_b/N_0 가 커짐에 따라 AWGN에 의한 영향보다는 다중경로 페이딩 채널에 의한 영향이 커지므로 AWGN에서와는 다른 성능을 보였다. 실내 거주환경인 채널 I에서는 다른 채널에 비해 낮은 BER을 나타내고 있다. 채널 III의 경우 차량의 고속이동으로 인한 채널의 변화가 심하게 일어나고 높은 도플러천이가 발생하여 BER이 다른 채널에 비해 크게 증가하고 있음을 볼 수 있었다. 실내와 실외환경 모두에서 E_b/N_0 가 증가함에 따라 $\pi/4$ DQPSK의 BER이 가장 크게 감소함을 알 수 있다. 따라서 다중경로 페이딩 채널 하에서 $\pi/4$ DQPSK의 BER 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. AWGN 채널 환경에서 가장 우수한 성능을 보였던 QPSK와 OQPSK의 경우는 다중경로 페이딩 환경인 채널 I, II, III 모두에서 다른 변조 방식에 비해 BER 성능이 좋지 못했다.

적용 등화기를 사용했을 때 모든 변조 방식은 E_b/N_0 가 30dB 정도에서 2~3dB 정도의 성능향상을 보였으며 error floor 현상이 30dB 정도에서 발생했고 등화기의 사용 여부에 관계없이 $\pi/4$ DQPSK의 BER 성능이 가장 우수하게 나타나고 있다. 또한 비동기 복조방식이 가능함으로 인해 간단한 수신기 구조가 가능했다. QPSK와 OQPSK는 다른 변조 방식에 비해 등화기 사용에 의한 BER 감소가 뚜렷했으며 반면에 GMSK의 경우는 등화기를 사용했을 때의 가장 높은 BER을 나타냈다.

위의 두가지 측면에서만 살펴봤을 때 개인 휴대통신을 위한 채널 환경에서는 스펙트럼과 BER 측면에서 GMSK가 가장 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 또한 단말기의 소형화, 저 가격화, 높은 전력 효율을 위해서 비선형 증폭시에도 side lobe의 증가가 거의 없는 GMSK 변조 방식이 가장 적합하다고 할 수 있다. 그러나 $\pi/4$ DQPSK는 가장 동일 신호전력에서 가장 낮은 BER을 나타냄으로써 높은 효율을 나타내었다. 적용 등화기 사용으로 인해 5가지의 변조 방식 모두 성능향상을 보였다.

참 고 문 헌

1. Technical Report on RF Channel Characterization and System Deployment Modeling, JTC.
2. H. Hashemi, "The Indoor Radio Propagation Channel," Proceedings of The IEEE, VOL.81, NO.7, pp.943-968, July 1993.
3. H. Hashemi, "Impulse Response Modeling of Indoor Radio Propagation Channels," IEEE JSAC, VOL.11, NO.7, pp.967-978, September 1993.
4. J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 1989.
5. B. Thoma, Theodore S. Rappaport, and Michael D. Keitz, "Simulation of Bit Error Performance and Outage Probability of $\pi/4$ DQPSK in Frequency-Selective Indoor Radio Channels Using a Measurement-Based Channel Model," IEEE, 1992.
6. C. L. Liu and K. Feher, "Bit Error Rate Performance of $\pi/4$ DQPSK in a Frequency-Selective Fast Rayleigh Fading Channel," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.40, no.3, pp.558-568, August 1991.
7. I. Korn, "GMSK with Frequency-Selective Rayleigh Fading and Cochannel Interference," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.10 no.3, pp.506-515, April 1992.
8. W. S. Smith, P.H. Witke, "Differential Detection of GMSK in Rician Fading," IEEE Trans. Commun., vol.42 no.2/3/4 pp.216-220, February/March/April 1994.
9. S. Ariyavisitakul, "A Decision Feedback Equalizer with Time-Reversal Structure," IEEE J. on Selected Areas in Commun., Vol.10, No.3, pp.599-613, April 1992.
10. K. Feher, "MODEMS for Emerging Digital Cellular-Mobile Radio System," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.40 no.2 pp.355-365, May 1991.
11. V. Fung, T. S. Rappaport, and Berthold Thoma, "Bit Error Simulation for $\pi/4$ DQPSK Mobile Radio Communications using Two-Ray and Measurement-Based Impulse Response Models," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.11 no.3 pp.393-405, April 1993.
12. S. Kozono, "Received Signal-Level Characteristics in a Wide-Band Mobile Radio Channel," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.43, no.3, pp.480-486, August 1994.
13. G. Wu, A. Jalali, P. Mermelstein, "On Channel Model Parameters for Microcellular CDMA Systems," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.44, no.3, pp.706-711, August 1995.
14. 차균현, 강창연, 통신 시스템, 범한 서적, 1995.

▲전 동 근(Dong Keun Jeon)

- 1986년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 8월 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
 1992년 8월 : 고려대학교 전자공학과(공학박사)
 1993년 10월 ~ 1995년 2월 : 한서대학교 전자공학과 교수
 1995년 3월 ~ 현재 : 시립인천전문대학 제어계측과 교수

▲이 연 우(Yeon Woo Lee)

- 1992년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
 1996년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과(공학박사과정 수료)

▲박 형 근(Hyung Keun Park)

- 1995년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
 1997년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자공학과(공학박사과정)