

이동무선 채널에서 파일럿 심볼 삽입기법을 이용한 QPSK 시스템의 시뮬레이션

김 태 현* 윤 영 석** 하 덕 호***

Simulation of QPSK System using Pilot Symbol Insertion Technique under Mobile Radio Channel

Tae-Heon Kim* Young-Seok Yoon** Deock-Ho Ha***

요 약

이동무선 채널 하에서 QPSK 시스템의 성능을 개선시키기 위하여 파일럿 심볼 삽입 기법을 이용하여 성능 개선을 시도하였다. 먼저 이동무선 채널에서 파일럿 심볼 삽입 기법을 이용한 시스템을 모델링하고 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다. 제안된 시스템의 성능은 보정 기법을 적용하지 않은 시스템에 비해 현저한 성능 개선을 가져왔다.

Abstract

We applied a pilot symbol assisted modulation technique to QPSK system for improving BER performance over mobile communication channel. We demonstrate through computer simulation, that the proposed scheme achieves a prominent improvement comparison to that of conventional QPSK in a fast flat Rayleigh fading environment.

-
- * 부산경상대학 사무자동화과 조교수
 - ** 부경대학교 정보통신공학과 석사과정
 - *** 부경대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 98. 4.7 심사완료 : 98.5.27

I. 서론

최근 $\pi/4$ -DQPSK 방식은 미국의 경우 디지털 셀룰러 시스템의 표준으로 되었으며[1], 이것은 정포락선 변조(constant envelope 변조)인 MSK, GMSK 및 디지털 FM과는 달리 16-QAM과 같은 nonconstant envelope 선형 변조 기법으로 스펙트럼 효율면에서 우수하다. 그러나 QPSK 방식을 이동통신 환경에 응용하기 위해서는 비선형성, 빠른 레일레이 페이딩 및 시간지연 스프레드 등에 의해 이동통신 환경에서 필연적으로 나타나게되는 심각한 성능 열화를 off-set할 수 있기 위한 정확한 보상기법이 필요하게 된다[2, 3].

레일레이 페이딩 보정 기법으로는 데이터 스트림에 잘 알려진 파일럿 시퀀스를 삽입 전송함으로써 가능하게 하는 방식[2]등이 있고, 이러한 기법은 빠른 레일레이 페이딩에 의한 왜곡 보상에 효과적이다. 한편, 최근 transparent tone-in band(TTIB)라는 페이딩 정정 기법[5]이 응용되고 있는데, 이것은 베이스밴드 신호 처리에 의해 dc에서 신호 스펙트럼에 notch를 생성하고, 반송주파수에서 pilot tone을 이러한 notch에서 변조한 후 삽입하는 방식이다.

본 논문에서는 파일럿 심볼을 이용하는 QPSK 시스템을 실제적인 통신환경을 가정하여 모든 파라미터들(예를들면 송수신 필터, FFT, 채널특성등)을 설정하여 시스템을 모델링하고 이를 시뮬레이션을 통해 성능분석을 시도한다.

II. QPSK 시스템의 개요

디지털 신호의 정보 내용에 따라서 반송파의 위상을 변화시키는 방식을 일반적으로 PSK(Phase Shift Keying)라 부른다. 2레벨 신호를 m 개의 비트로 묶어서 $M = 2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식을 M 진 PSK라 부른다. 2진, 4진, 8진 PSK가 널리 사용되고 있다. 다음 그림 1에 QPSK의 신호점 좌표를 나타내었다.

4진 PSK, 즉, QPSK방식은 먼저 입력 데이터 열

이 직병렬 변환기에 의해 분배되며 2진 부호를 나타내는 입력 데이터 열 $\{d_n\} = \{d_0, d_1, d_2, \dots\}$ 를 다음과 같이 I 및 Q채널로 나누어 전송한다. 이들을 각각 $\{d_I(t)\}$, $\{d_Q(t)\}$ 라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \{d_I(t)\} &= d_0, d_2, d_4, \dots (\text{짝수 비트}) \\ \{d_Q(t)\} &= d_1, d_3, d_5, \dots (\text{홀수 비트}) \end{aligned} \quad (1)$$

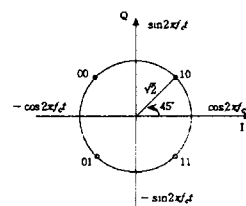


그림 1. QPSK 신호점 좌표
Fig 1. Signal constellation of QPSK

이와 같이 분리된 데이터 $\{d_I(t)\}$ 와 $\{d_Q(t)\}$ 에 따라 90° 의 위상차를 갖는 2개의 반송파를 각각 변조시킨 후 합성하면 90° 의 위상차를 갖는 2개의 BPSK를 선형으로 합한 것과 같게된다. 결국 QPSK의 출력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{QPSK} = A \cos(2\pi f_c t + \Phi_i) \quad (2)$$

여기서 A 및 f_c 는 반송파의 진폭 및 주파수이고, $d_I = \cos \Phi_i$, $d_Q = \sin \Phi_i$ 이므로

$$\Phi_i = \tan^{-1} \frac{d_Q}{d_I} \quad (3)$$

과 같다.

III. QPSK의 오류를 해석

3-1. AWGN 환경

일반적으로 AWGN 환경에서 QPSK의 오류 확률은 다음의 식으로 주어진다[6].

$$P(e) \approx \text{erfc} \sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \quad (4)$$

여기서 심볼 에너지 $E_s = 2E_b$ 이다. 참고적으로 $P(e) > 10^{-3}$ 의 경우 $M > 2$ 에 대한 근사식은 다음과 같다[6].

$$P(e) \approx \text{erfc} \left[\left(\sin \frac{\pi}{M} \right) \sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \right] \quad (5)$$

(5)식에서 $M = 4$ 를 대입하면 (4)식을 얻는다.

한편, 부가백색 가우시안 잡음만이 존재할 경우 QPSK의 오류 확률식은

$$P_{b(QPSK)} \approx \frac{1}{2} \exp(-E_b/N_0) \quad (6)$$

과 같이 된다.

3-2 AWGN과 페이딩이 존재하는 경우

m 분포 페이딩(Nakagami fading)모델을 도입하여 해석하는데 이것은 페이딩 지수 m 값에 따라 페이딩 정도를 나타내며 문헌[4]의 결과를 이용하여 레일리 페이딩 채널에서의 오류 확률 식을 구하면

$$P_{ray}[\gamma_0] \approx \int_0^{\infty} \frac{1}{\gamma_0} \exp(-\gamma_0 E_b/N_0) P_{bnon}(\gamma) d\gamma \quad (7)$$

과 같이 되며 여기서 γ_0 는 E_b/N_0 의 평균이며 γ 는 E_b/N_0 이다. 식은 문헌[3]의 결과를 이용하여 유도하였다.

IV. 파일럿 심볼 삽입 기법을 응용한 시뮬레이션 시스템 구성

4-1 파일럿 심볼 삽입 기법

파일럿 심볼 삽입기법은 파일럿 심볼 a_F 를 $(N-1)$ 정보 심볼마다 삽입하여 전송하는 방식으로서 프레임 길이는 N 심볼이 된다. 프레임과 파일럿 심볼의 관계는 다음 [그림 2]와 같다.

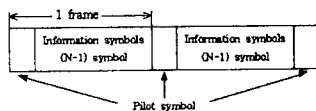


그림 2. 프레임 포맷(Fig 2. Frame format)

4-2 시뮬레이션 시스템 계통도

파일럿 심볼을 이용한 시뮬레이션 시스템의 계통도는 다음 [그림 3]과 같이 된다.

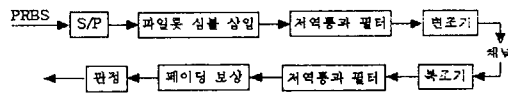


그림 3. 시뮬레이션 시스템 계통도

Fig 3. The block diagram of simulation system

시뮬레이션 시스템의 계통도의 각 블록을 간략히 설명한다. 먼저 PRBS 신호가 직병렬 변환기(S/P)에 의해 적절한 2레벨 rectangular 펄스(심볼 duration T_s)들이 I와 Q채널로 스위칭 되어진다. [그림2]에서 이미 설명한 바와 같이 길이 N 심볼의 각 프레임마다 파일럿 심볼이 삽입되며 파일럿 심볼과 데이터의 비는 1: $(N-1)$ 이 된다.

파일럿 심볼은 신호점 좌표의 4개의 점 중 1개의 점을 선택하여 수신단에 알려진다. 송신 저역통과 필터는 $x/\sin x$ 형의 aperture 등화를 갖는 square root raised cosine 필터를 가정하며 롤오프 계수는 0.4를 가정한다. 저역통과 필터링 후에는 I와 Q의 기저대역 신호들은 캐리어 주파수 f_c 에 따라 quadrature 변조되어진다. 변조된 신호는 다음 식 (8)과 같이 주어진다.

$$S_r(t) = \text{Re}[z_T(t)e^{j2\pi f_c t}] \quad (8)$$

여기서 $z_T(t) = \sqrt{2}[s_I(t) + js_Q(t)]$ 이며, 일반적으로 송신된 기저대역신호의 복소성분 혹은 신호의 복소 포락선(envelop)이다.

본 논문의 페이딩 채널의 모델은 nonfrequency selective fading (flat fading)모델을 사용하였다. 이 결과 페이딩을 받은 캐리어 신호는 채널에 부여된 랜덤 진폭과 위상 변조를 가지게됨이 보고되어있다. 여기서 랜덤 진폭은 레일리 분포를 하고, 랜덤 위상은 균일 분포를 하게된다[5]. 수신된 캐리어신호 $S_r(t)$ 는 주파수 f_c 인 국소적으로 생성된 캐리어

에 의해 동기(coherently) 복조되어 진다. 다음에 따르게 되는 저역통과 필터는 롤 오프 계수 0.4의 square root raised cosine 필터이다. 이것은 송신 필터와 cascade되어 정합, ISI free 전송 및 선형 AWGN채널에서의 최적 BER 성능을 확실히 해주기 위해 사용되어진다. 복조되고 저역통과 필터링된 복소신호는 다음의 식으로 주어진다.

$$w(t) = [a(t)z_R(t) + n(t)]e^{-j2\pi f_{off}t} \quad (9)$$

여기서 $z_R(t)$ 는 필터링에 의해 필터링되어 수신된 복소 기저대역 신호의 신호 성분이다. 그리고 $n(t)$ 는 신호에 무관한 동상 및 직교성분으로 각각 더블 사이드밴드 스펙트럼 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 제로 평균 백색 가우시안 잡음 프로세스이다.

페이딩에 의한 왜곡은 식 (9)에 의해 주어진 복소 채널 이득 $a(t)$ 에 의해 나타내어진다. 페이딩 프로세스의 대역폭은 현저히 심볼 율에 비해 작기 때문에 여기서 수신단의 저역통과 필터에 의해 이러한 성분은 왜곡되지 않는 것으로 가정한다. $w(t)$ 를 구성하는 복조된 I 및 Q채널 신호들은 $1/T_s$ 의 심볼율로 샘플되고 프레임율은 $1/T_F = 1/NT_s$ 가 된다.

kT_F 에서의 샘플들은 파일럿 심볼에 해당하는 수신된 복소 심볼들을 제공한다. 그러나 $(k + m/N)T_F$ ($m = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$)에서의 샘플들은 보상되지 않은 수신된 데이터 심볼들을 제공한다. 다음에 설명되는 페이딩 보상 해석에서는 간단화를 위하여 일정한 파일럿 시퀀스 $(1 + j)$ 가 송신되는 것으로 가정한다. k 번째 파일럿 심볼의 페이딩에 의한 왜곡 $\hat{a}(k)$ 는 다음과 같이 추정되어질 수 있다.

$$t = kT_F \text{ (수신된 파일럿 심볼에 해당)에 대해서}$$

$$w(k) = [a(k)(1 + j) + n(k)]e^{-j2\pi f_{off}kT_F} \quad (10)$$

여기서 $w(k)$ 와 $n(k)$ 는 $t = kT_F$ 에서의 $a(t)$ 의 페이딩 추정 $\hat{a}(k)$ 는 $w(k)$ 를 대응되는 송신된 파일럿 심볼에 의해 나누어줌으로서 구할 수 있다. 따라서

$$\hat{a}(k) = \frac{w(k)}{(1 + j)} \quad (11)$$

이 된다.

$a(t)$ 가 대역 제한된 프로세스이므로 다른 점 $(k + m/N)T_F$ 에서의 페이딩은 저역통과 필터링을 사용함으로써 얻어질 수 있다.

페이딩 보정은 각 수신된 심볼을 대응되는 페이딩 추정량에 의해 나눔으로서 수행되어진다. 보정된 복소 샘플들 $\hat{z}(k + m/N)$ 은 다음 식 (12)와 같이 주어진다.

$$\hat{z}(k + \frac{m}{N}) = \frac{w(k + \frac{m}{N})}{\hat{a}(k + \frac{m}{N})} \quad (12)$$

위에 언급한 이상적인 경우 이 방법은 정확한 위상 및 진폭 보상을 하게된다. I와 Q채널에서의 검출기가 보상된 샘플들 $\hat{z}(k + m/N)$ 에 대한 심볼 대 심볼 결정을 위하여 사용되어진다. 그 다음에 복조된 심볼이 송신측의 매핑 규칙에 의거 대응되는 2개의 2진 디지털로 바뀌어져서 입력된 PRBS와 비교, 검토하여 몬테칼로 방법에 의해 오류율을 계산한다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션

다음 그림 4 및 5는 본 연구에서 고려된 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 4는 본 논문에서 고려된 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 먼저 이상적인 채널의 경우 식(6)식과 본 논문에서 모델링한 시스템의 성능(페이딩 보정기법을 적용하지 않은 경우)의 성능 비교를 보여준다.

결과를 보면 이론적인 계산치와 본 논문의 시뮬레이터의 성능이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있으며 약간의 오차가 나타나는 것은 당연한 현상이겠지만 본 논문의 시뮬레이터의 경우 실제적 통신 환경을 고려하였기 때문이다. 그러나 이론적인 곡선과 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있으므로 본 논문의 시뮬레이터의 신뢰성은 만족할만하다고 사료된다.

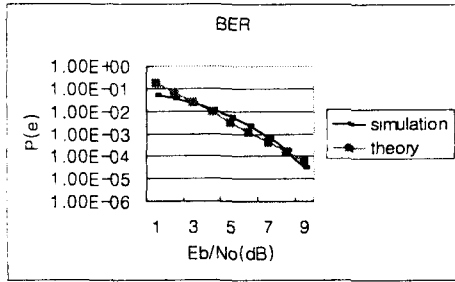


그림 4. 가우시안 채널에서의 시뮬레이션 결과
Fig 4. Simulation result in Gaussian channel

한편, 그림 5는 레일리 페이딩 환경하의 일반적인 QPSK 시스템의 성능을 (7)식을 이용하여 계산한 이론치와 본 연구의 시스템에서 파일럿 심볼 삽입 기법을 적용하지 않은 경우, 그리고 파일럿 심볼 삽입 기법을 적용한 경우의 결과를 비교한 것이다.

결과를 보면 음성통신을 위한 기준 오율치인 10⁻³ 근처에서 파일럿 심볼 삽입한 경우가 그렇지 않은 일반적인 QPSK에 비해 10dB이상의 성능 향상을 보이며, QPSK의 이론적인 계산치(식 7)의 경우와 비교하여도 상당한 개선 효과를 가져올 수 있다.

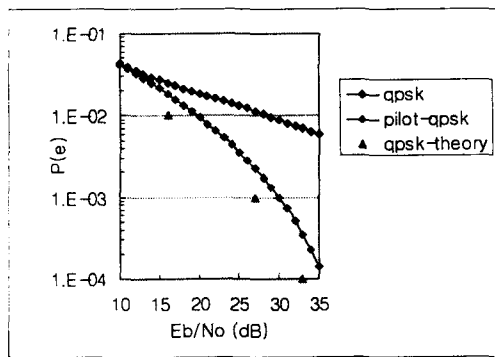


그림 5. 시뮬레이션 결과
Fig 5. Simulation results(AWGN + Rayleigh fading channel)

VI. 결론 및 검토

본 연구에서는 레일리 페이딩 채널 하에서 QPSK시스템의 성능을 개선시키기 위하여 파일럿

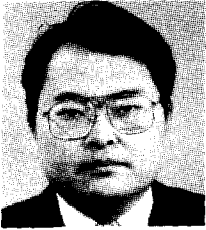
심볼 삽입 기법을 이용하여 성능 개선을 시도하였다. 논의된 시스템의 성능은 보상기법을 적용하지 않은 시스템에 비해 10⁻³을 기준으로 10dB 이상의 뛰어난 성능 향상을 보인다. 여기서 한가지 언급하고 싶은 것은 본 연구에서는 특히 기존의 연구[3]에서 수치해석적 기법에 의한 이론적 성능 검토를 탈피하여 하드웨어 특성을 실제로 고려한 새로운 모델을 정립하여 이를 시뮬레이션하였다는 점이다.

아울러 본 연구의 유효성을 입증하기 위하여 오류 확률을 시뮬레이션 결과와 이론식을 이용한 통상의 QPSK의 이론적인 오류율을 구한 다음 이를 AWGN과 이동무선환경에서 각각 상호 비교 검토하였으며 결과가 타당함을 알 수 있었다.

References

- [1] Electronics Industries Association Specification IS-54, "Dual mode subscriber equipment compatibility specification," EIA Proj. 2215, Dec. 1989.
- [2] Martin S. Roden, "Analog and Digital Communication Systems," 3rd Edition, Prentice Hall, 1991.
- [3] 김현주, 박상규, "페이딩 환경 하에서 Trellis 부호화된 8 PSK 시스템의 성능 분석," 한국통신학회 논문지, 1993년 3월호, pp. 301 - 309.
- [4] S. Sampeii and T. Sunaga, "Rayleigh fading compensation method for 16-QAM in digital land mobile radio," IEEE VTC, 1990, pp. 640-646.
- [5] P. M. Martin et. al., "The Implementation of 16-QAM mobile data system using TTIB-based fading correction techniques," IEEE VTC, 1988, pp. 71-76.
- [6] C.Y. Lee, "Mobile cellular communications," 2nd Edition, McGraw -Hill, 1996.
- [7] 진년강, 통신시스템의 기초, 청문각, 1993.

● 저자소개



김 태 헌(Tae-Heon Kim)

1987년 : 한양대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1989년 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1997년 : 국립부경대학교 전자공학과 (박사수료)
1989년 ~ 1991년 : 금성정보통신 연구소 연구원
1991년 ~ 1994년 : 한국전자통신연구소(ETRI)연구원
1994년 ~ 현재 : 부산경상전문대학 사무자동화과 조교수
관심분야 : 통신방식, 이동통신, CAD for VLSI 등



윤 영 석(Young-Seok Yoon)

1997년 : 동서대학교 공학사
1997년 ~ 현재 : 부경대학교 정보통신공학과 석사과정
관심 분야 : 실내의 전파특성 모델링, 등화기술 등



하 덕 호(Deock-Ho Ha)

1979년 : 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
1984년 : 일본 Kyoto대학 대학원 전자공학과(공학석사)
1987년 : 일본 Kyoto대학 대학원 전자공학과(공학박사)
1987년 ~ 1987년 : 일본(주)Matsushita 전기, 무선연구소 연구원
1990년 ~ 1991년 : 캘리포니아 대학(Davis) 방문연구교수
1987년 ~ 현재 : 부경대학교 정보통신공학과 교수
관심 분야 : PCS, FPLMTS 실내의 전파특성 모델링, cellular engineering, 다
이버시티 시스템, 무선 LAN, 디지털 이동통신방식, equalizing
technique 등