

Q²PSK 변조 시스템에서 수신 성능 향상을 위한 적용 등화기에 관한 연구

A Study on the Adaptive Equalizer for Performance Enhancement in Q²PSK Modulation System

금 흥 식*, 김 용 로*, 유 흥 균*

(Hong-Sik Keum*, Yong-Ro Kim*, Heung-Gyoon Ryu*)

이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 지방대학육성과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 Q²PSK 변·복조 시스템을 대상으로, 가우시안 잡음이 존재하는 2경로 레일레이 페이딩 채널에서 수신 시스템의 비트 오류 성능을 분석하였다.

페이딩 채널을 통과하면서 왜곡된 신호에 의한 성능 저하와 이 왜곡된 신호에서 복원된 반송파를 사용함으로써 발생하는 비동기 복조에 의한 성능 저하를 개선하기 위하여 적응 LMS 알고리즘을 사용하는 TDL 등화기를 사용하였다.

적용 등화기를 사용한 결과, SNR이 12dB일때, 페이딩이 존재할 경우에는 83.7%, 반송파 위상 오차가 존재할 경우에는 89.3%, 그리고 페이딩과 반송파 위상오차가 같이 존재할 경우에는 60.4%의 수신 성능 개선이 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we investigate the Q²PSK modulation and demodulation system and analyze the BER performance of the receiver system under 2-way Rayleigh fading and Gaussian noisy channel environment.

The TDL equalizer with the adaptive LMS algorithm is used to improve the receiver performance since the received signal is distorted through that channel and the recovered carrier from the noncoherent demodulation has much phase deviation error.

From the results of computer simulation, it is shown that at 12dB SNR, the reception performance is improved by 83.7% in the fading case, 89.3% in the carrier phase error case and 60.4% in the case of the fading and carrier phase error.

I. 서 론

이동 통신에서는 이용할 수 있는 대역폭이 제한되어 있으므로 변조 신호가 차지하는 스펙트럼의 대역폭은 가능한한 좁아야하고 또한 진폭이 일정하며 하드웨어의 구현이 용이한 고효율 변복조 방식을 연구하여 디지털 이동 통신에서 응용함이 매우 중요한 연구과제가 되고 있다. 그러므로 제한되어 있는 전파 자원을 효율적으로 이용함과 동시에 전송 스펙트럼 효율을 향상 시키며, 신호간의 간섭이나 혼신등을 제거할 수 있는 연구가 필수적이라 하겠다.

우수한 변조 방식으로 알려진 기존의 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), OQPSK(Offset QPSK)나 MSK(Minimum Shift Keying)는 가능한 차원의 1/2를 사용하고 있다. 그런데, 신호의 가용 차원을 모두 사용하는 방식으로 1989년 D. Saha에 의하여 Q²PSK(Quadrature-Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식이 연구되어 대역이 제한된 통신로 상에서 높은 전송비율을 얻을 수 있음이 제안되었다[1,2].

이동 통신에서는 채널이 정적인 특성보다는 시변적인 특성을 갖기 때문에 고정된 특성을 갖는 등화기(equalizer)보다는 채널의 특성 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 장점을 지닌 적응 등화기가 요구된다. 부호간 간섭(ISI: intersymbol interference)과 채널상의 잡음 그리고 다중경로 Rayleigh 페이딩의 영향으로 왜곡된 디지털 신호를 원 신호로 복원하기 위하여, 일반적으로 계산량이 적고 필터의 구조가 간단한 TDL(tapped delay line) 적응 등화기가 연구되고 있다.

그리고, 적응 등화기의 적응 알고리즘으로는 Widrow와 Hoff의 계산량이 적고 간단한 LMS(Least Mean Square) 알고리즘이 널리 사용되고 있다[3,4].

본 논문에서는 백색 가우시안 잡음이 존재하는 2-경로 Rayleigh 페이딩 채널에 대한 Q²PSK 변·복조 시스템을 모델링하였다. 모델링된 채널과 시스템에 대하여 비트오율 성능을 분석하였다. 그리고 복조단에서 적응등화기를 사용하여 비트 오율 성능을 분석하였으며, 페이딩의 크기와 반송파 위상 오차가 수신 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

II. Q²PSK 변·복조 시스템

1. Q²PSK 변조기

Q²PSK는 대역 효율을 증가시키기 위해 쌍방향 직

교 위상인 2개의 데이터 성형 펄스와 2개의 반송파를 사용함으로써 4차원 신호공간을 만들고 QPSK나 MSK보다 2배로 전송속도를 높이기 위하여 신호공간의 차원을 증가시킨 변조 방식이다.

Q²PSK의 기본 신호집합은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s_1(t) &= \cos(\pi t/2T) \cdot \cos 2\pi f_c t, & |t| \leq T \\ s_2(t) &= \sin(\pi t/2T) \cdot \cos 2\pi f_c t, & |t| \leq T \\ s_3(t) &= \cos(\pi t/2T) \cdot \sin 2\pi f_c t, & |t| \leq T \\ s_4(t) &= \sin(\pi t/2T) \cdot \sin 2\pi f_c t, & |t| \leq T \end{aligned} \quad (1)$$

$$s_i(t) = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad |t| > T$$

$$P_1(t) = \begin{cases} \cos(\pi t/2T) & , & |t| \leq T \\ 0 & , & |t| > T \end{cases} \quad (2)$$

$$P_2(t) = \begin{cases} \sin(\pi t/2T) & , & |t| \leq T \\ 0 & , & |t| > T \end{cases}$$

여기서 $P_1(t)$, $P_2(t)$ 는 데이터 성형 펄스로서 위상이 서로 직교이며, f_c 의 주파수를 갖는 sine, cosine 함수는 반송파 함수이다.

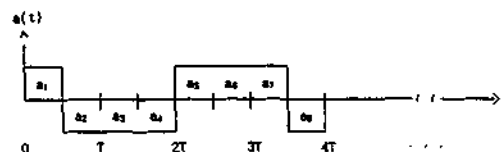
$s_i(t)$ 신호 집합 중에서 임의의 두 신호 사이에는 데이터 성형 펄스항 또는 반송파항 중, 하나의 항은 동일하며, 다른 나머지 항은 서로 직교위상을 가지고 있다. 이것은 반송파 주파수 f_c 가 식 (3)과 같이 된다면, 신호 $s_i(t)$ 를 동일 에너지를 갖는 4개의 직교 신호가 되게 한다.

$$f_c = \frac{n}{4T} \quad (3)$$

여기서, n 은 2 보다 큰 정수이다.

Q²PSK 변조한 신호의 정보 전송속도는 $2/T$ 로서 MSK, QPSK의 전송속도 $1/T$ 보다 2배가 된다.

Q²PSK 변조기의 구성도는 그림 1과 같다.



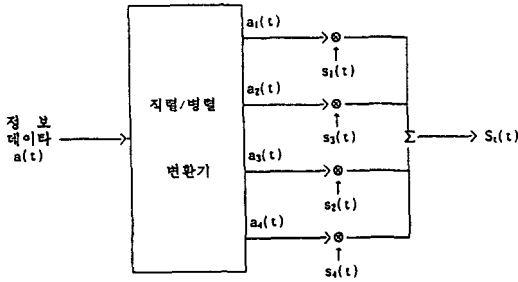


그림 1. Q²PSK 변조기 구성도
Fig 1. Block diagram of Q²PSK modulator

그리고, 직렬/병렬 변환기를 통과한 NRZ 데이터 열 $a_i(t)$ 와 결합하여 변조신호 $S_i(t)$ 를 구성하는 Q²PSK의 데이터 펄스의 형태는 그림 2와 같다.

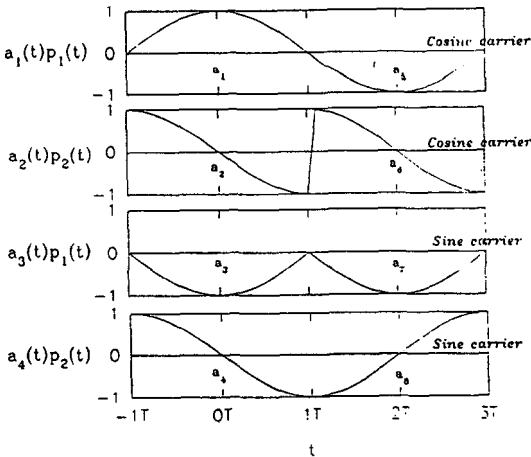


그림 2. Q²PSK의 데이터 성형 펄스
Fig 2. Data shaping pulses of Q²PSK

2개의 반송파와 2개의 데이터 성형 펄스로 변조된 신호 $S_i(t)$ 는 식 (4)로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 s_i(t) &= a_1(t) \cdot \cos(\pi t/2T) \cdot \cos 2\pi f_c t \\
 &\quad + a_2(t) \cdot \sin(\pi t/2T) \cdot \cos 2\pi f_c t \\
 &\quad + a_3(t) \cdot \cos(\pi t/2T) \cdot \sin 2\pi f_c t \\
 &\quad + a_4(t) \cdot \sin(\pi t/2T) \cdot \sin 2\pi f_c t \quad (4) \\
 &= \cos[2\pi(f_c + b_{14}(t)/4T)t + \phi_{14}(t)] \\
 &\quad + \sin[2\pi(f_c + b_{23}(t)/4T)t + \phi_{23}(t)]
 \end{aligned}$$

여기서, $b_{14}(t) = -a_1(t)a_4(t)$, $a_1 = +1$ 또는 -1 에 따라 $\phi_{14}(t) = 0$ 또는 π (5)

$b_{23}(t) = a_2(t)a_3(t)$, $a_3 = +1$ 또는 -1 에 따라 $\phi_{23}(t) = 0$ 또는 π 이다.

식 (5)에서 알 수 있듯이 Q²PSK 변조신호는 $f_c \pm 1/4T$ 의 순서 주파수를 갖는 정현파와 $f_c \pm 1/4T$ 의 순서주파수를 갖는 여현파의 합이며, 주파수 간격은 $1/2T$ 이다. 즉, MSK와 같이 2개의 FSK 신호의 동기적 교성을 위해 필요한 최소 간격이다.

2. Q²PSK 복조기

Q²PSK 변조 방식은 사용 가능한 모든 신호차원을 사용하기 때문에 비동기식 복조는 불가능하다. 동기식 정합 필터 복조를 위해서는 반송파 위상과 클럭 타이밍 정보가 필요하다. MSK에서는 이것을 수신된 신호에서 유도한다.

Q²PSK 복조시에도 기본 신호집합 $\hat{s}_i(t)$ 와 클럭 신호를 수신신호 $S_i(t)$ 에서 복원한다.

복원된 신호집합과 클럭신호를 사용하는 Q²PSK 복조기의 구성도는 그림 3과 같다.

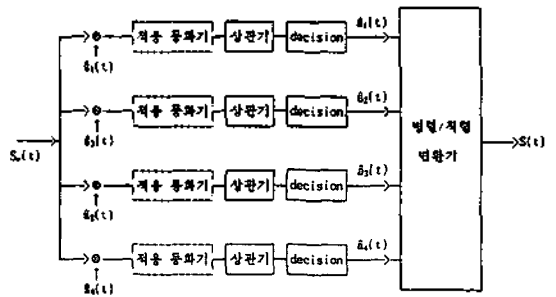


그림 3. Q²PSK 복조기 구성도
Fig 3. Block diagram of Q²PSK demodulator

수신된 신호에서 복원된 기본 신호 집합 $\hat{s}_i(t)$ 는 정적인 반송파 위상 오차 θ 를 갖는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \hat{s}_1(t) &= \cos(\pi t/2T) \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad , \quad |t| \leq T \\
 \hat{s}_2(t) &= \sin(\pi t/2T) \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad , \quad |t| \leq T \\
 \hat{s}_3(t) &= \cos(\pi t/2T) \cdot \sin(2\pi f_c t + \theta) \quad , \quad |t| \leq T
 \end{aligned}$$

$$\hat{s}_4(t) = \sin(\pi t/2T) \cdot \sin(2\pi f_c t + \theta) \quad , \quad |t| \leq T \quad (6)$$

전송된 정보 데이터 $\hat{s}_i(t)$ 는 수신 신호 $S_r(t)$ 에 복원된 신호 집합 $\hat{s}_i(t)$ 를 곱한 후 심볼 주기 간격으로 적분을 행하는 상관기를 거쳐 결정회로를 통해 복원된다.

$$\hat{s}_i(t) = \int_{kT}^{(k+1)T} S_r(t) \cdot \hat{s}_i(t) dt \geq 0 \quad (7)$$

이렇게 복원된 데이터 신호는 다시 병렬/직렬 변환기를 통하여 $\hat{s}(t)$ 로 재구성된다.

III. 적응 등화기

일반적으로 신호의 등화를 위하여 사용하는 등화기 구조들 중에서 널리 사용되고 있는 것은 TDL 등화기로써 그림 4와 같다.

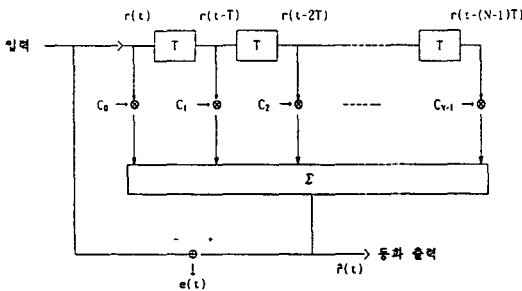


그림 4. TDL 등화기 구성도
Fig 4. Block diagram of TDL equalizer

등화기에서 입력된 신호의 현재 그리고 과거값 $r(t-nT)$ 는 탭 계수 C_n 에 의해 선형적으로 가중되고 출력에 산출하기 위해 합해진다.

입력 벡터를 R 이라 하면 식 (8)과 같다.

$$R = [r(t), r(t-T), \dots, r(t-(N-1)T)] \quad (8)$$

탭 계수인 가중치 벡터 C 는 식 (9)와 같다.

$$C = [c_0, c_1, \dots, c_{N-1}]^T \quad (9)$$

여기서, c_n 는 n 번째 탭 계수이다.

그리고, 출력 $\hat{r}(t)$ 는 식 (10)과 같이 된다.

$$\hat{r}(t) = R \cdot C \quad (10)$$

출력에 대한 에러 $e(t)$ 는

$$e(t) = d(t) - \hat{r}(t) \quad (11)$$

여기서, $d(t)$ 는 기준 입력 신호로서 T 만큼 지연된 입력 신호 $r(t-T)$ 이다.

Widrow와 Hoff에 의해 제안된 LMS 알고리즘은 추정 오차의 제곱값에 대한 통계적 평균치를 줄이도록 동작한다. 이러한 LMS 적응 알고리즘을 이용하는 탭 계수 갱신 방정식은 식 (12)와 같다.

$$C = C - \mu * e(t) * R \quad (12)$$

여기서, μ 는 적응 스텝 크기이며, 수렴률을 결정하는 상수로 적응 신호처리의 안정도를 만족시키기 위해 식 (13)의 범위를 만족하여야 한다.

$$0 < \mu < \frac{4}{N \cdot P} \quad (13)$$

여기서, $P = E\{r(t)^2\}$ 으로 입력신호의 전력이다.

IV. 시스템 모델링과 성능 분석

1. 시스템 모델링

Q^2 PSK 시스템의 성능 분석을 위하여, 식 (3)에서 $n=8$ 로 하여 Q^2 PSK 변조 송신 신호인 식 (4)를 다음 식 (14)와 같이 모델링하였다.

$$s_i(t) = \sqrt{2P} [a_1(t) \cdot \cos(\pi t/2T) \cdot \cos(4\pi t/T) + a_2(t) \cdot \sin(\pi t/2T) \cdot \cos(4\pi t/T) + a_3(t) \cdot \cos(\pi t/2T) \cdot \sin(4\pi t/T) + a_4(t) \cdot \sin(\pi t/2T) \cdot \sin(4\pi t/T)] \quad (14)$$

이 송신 신호는 가우시안 잡음이 존재하는 레일레이 페이딩 채널을 통하여 전송된 후, Q^2 PSK 복조기에 수신되는 것으로 모델링 되었다.

이동 통신 채널은 그림 5와 같이 직접과 경로와 1개의 페이딩 경로를 갖는 2 경로 레일레이 페이딩 채널로 모델링하였다.

복조기의 입력신호 $S_r(t)$ 는 식 (15)와 같다.

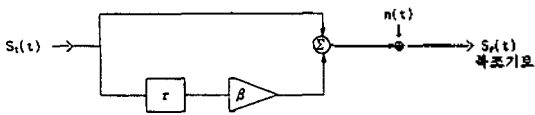


그림 5. 2 경로 페이딩 채널 모델
Fig 5. 2-way fading channel model

$$S_r(t) = S_i(t) + \beta S_i(t - \tau) + n(t), \quad n = -\infty \sim +\infty \quad (15)$$

여기서, $S_i(t)$: Q²PSK 변조된 송신 신호,
 β : 간접과 경로의 감쇄율,
 τ : 간접과 경로의 지연,
 $n(t)$: 백색 가우시안 잡음이다.

이러한 채널을 전파하면서 신호는 왜곡되게 되며, 이렇게 왜곡된 신호로부터 복원된 기본 신호 집합 또한 반송파 오차와 타이밍 클럭 오차를 가지게 된다.

이처럼 왜곡된 신호를 다시 복원하고, 반송파 위상 오차와 타이밍 클럭 오차의 영향을 줄이기 위하여, 상판기 전단에 적응 등화기를 사용하였다.

적응 등화기에서 사용된 초기 설정치는 다음 표 1과 같다.

표 1. Q²PSK 시스템 초기 설정치
Table 1. Initial values of Q²PSK system

신 호	심분 주기 (T)	16 sample
	신호 전력 (P)	5 W
채 널	페이딩 경로 지연(τ)	T/4
등 화 기	등 화 기 차 수 (N)	16 차
	탭 계 수 초기 치	0.0002
	적 용 스텝 크 기 (μ)	0.0008

여기서, 적응 스텝 크기 μ 는 식 (13)의 $0 < \mu < 0.05$ 조건을 만족한다.

2. 성능 분석

그림 6은 적응 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우, 페이딩의 크기 즉, 간접과 전력 대 직접과 전력의 비에 따른 Q²PSK 시스템의 비트 오류 성능을 나타낸 것이다. 등화기를 사용한 경우가 실선으로 표시된 곡선이고, 사용하지 않은 경우가 점선으로 표시된 곡선이다.

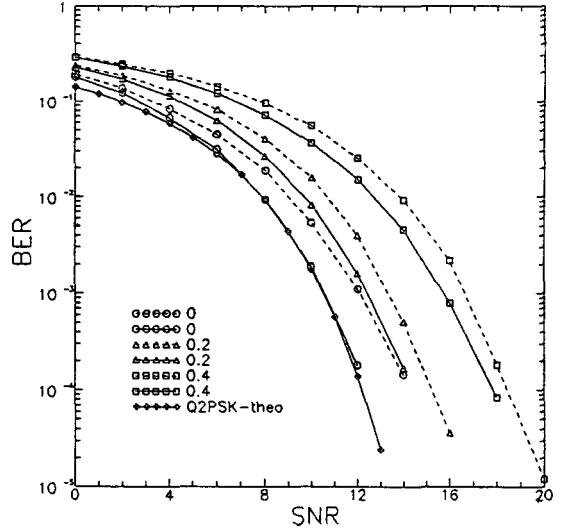


그림 6. 페이딩 지수에 따른 비트 오류 성능
Fig 6. BER performance for fade margin

Q²PSK 방식은 대역의 확장없이 전송 속도를 2배로 늘리는 방식이어서 4-level MSK로 볼 수 있다. 따라서 Q²PSK 방식의 에러확률(+)은 식 (16)과 같다 [1].

$$P_e = \frac{1}{4} (3Q(r) + 2Q(3r) - Q(5r)) \quad (16)$$

여기서, $r = \sqrt{0.8E_b/N_0}$ 이다.

그림 6에서 페이딩 지수가 0(○), 0.2(△), 0.4(□)로 커짐에 따라 수신 성능이 저하됨을 확인할 수 있다. SNR이 12dB일때, 각 경우의 비트 오류를 비교하면 표 2와 같다.

표 2. 페이딩에 따른 비트 오류 성능
Table 2. BER performance for fade margin

	페이딩 지수		
	0	0.2	0.4
등화기 사용	0.000180	0.001599	0.015084
등화기 미사용	0.001106	0.003942	0.025349

적응 등화기를 사용함으로써 페이딩 지수가 0일때는 83.7%, 0.2일때는 59.4%, 0.4일때는 40.5%의 성능 개선을 이룰 수 있다.

또한, 10⁻⁴ 비트 오류율 기준으로 적응 등화기를

사용할 경우 표 3과 같은 SNR 여유를 갖음을 알 수 있다.

표 3. 페이딩에 따른 SNR 여유
Table 3. SNR margin for fading

Δ SNR [dB]	페이딩 지수		
	0	0.2	0.4
	1.86	0.86	0.57

그림 7은 적응 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우, 복조기에서 복원된 신호 집합중 반송파 위상 오차의 크기에 따른 Q²PSK 시스템의 비트 오류 성능을 나타낸 것이다. 등화기를 사용한 경우가 실선으로 표시된 곡선이고, 사용하지 않은 경우가 점선으로 표시된 곡선이다.

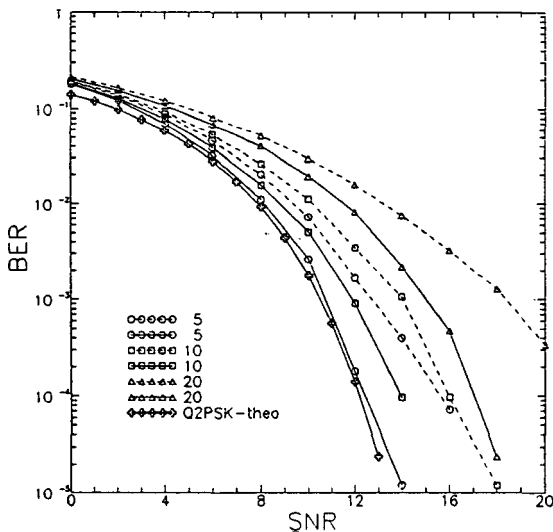


그림 7. 반송파 위상 오차 크기에 따른 비트 오류 성능
Fig 7. BER performance for carrier phase error

그림 7에서 반송파 위상 오차가 5°(○), 10°(△), 20°(□)로 커짐에 따라 비동기 복조가 이루어짐으로써 수신 성능이 저하됨을 확인할 수 있다. SNR이 12dB일때, 각 경우의 비트 오류를 비교하면 표 4와 같다.

적용 등화기를 사용함으로써 반송파 위상 오차가 5°일때는 89.3%, 10°일때는 73.6%, 20°일때는 47.6%의 성능 개선을 이룰 수 있다. 이것은 앞의 표 2에서

표 4. 반송파 위상 오차에 따른 비트 오류 성능
Table 4. BER performance for carrier phase error

	반송파 위상 오차		
	5°	10°	20°
등화기 사용	0.000180	0.000913	0.008209
등화기 미사용	0.001683	0.003462	0.015673

의 성능 개선비보다 더 좋은 개선비이다. 따라서 적응 등화기의 사용이 반송파 위상 오차에 대하여 더 우수한 성능 개선을 나타냄을 알 수 있다.

또한, 10⁻⁴ 비트 오류를 기준으로 적응 등화기를 사용할 경우 표 5와 같은 SNR 여유를 갖음을 알 수 있다.

표 5. 반송파 위상 오차에 따른 SNR 여유
Table 5. SNR margin for carrier phase error

Δ SNR [dB]	반송파 위상 오차		
	5°	10°	20°
	3.14	2.0	-

그림 8은 적응 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우, 페이딩의 크기와 반송파 위상 오차의 크기에 따른 Q²PSK 시스템의 비트 오류 성능을 나타낸 것이다. 등화기를 사용한 경우가 실선으로 표시된 곡선이고, 사용하지 않은 경우가 점선으로 표시된 곡선이다.

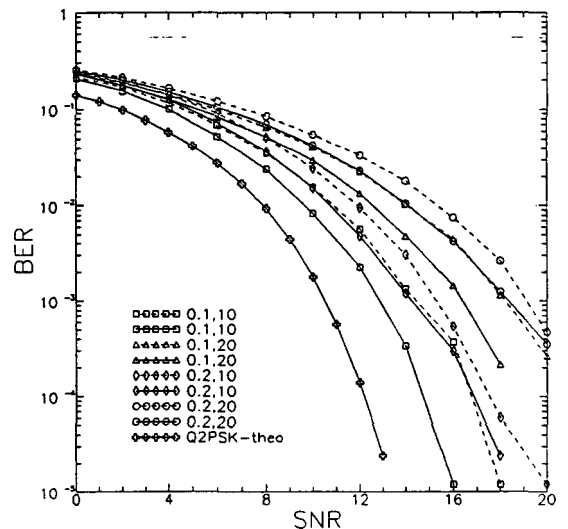


그림 8. 페이딩과 반송파 위상오차 크기에 따른 비트 오류 성능
Fig 8. BER performance for fading and carrier phase error

그림 8에서 페이딩 지수와 반송파 위상 오차가 각각 0.1, 10°(□), 0.1, 20°(△), 0.2, 10°(◇), 0.2, 20°(○)로 커짐에 따라 수신 성능이 저하됨을 확인할 수 있다. SNR이 12dB일때, 각 경우의 비트 오류율을 비교하면 표 6과 같다.

표 6. 페이딩과 반송파 위상 오차에 따른 비트 오류 성능
Table 6. BER performance for fading and carrier phase error

	페이딩 지수와 반송파 위상 오차			
	0.1, 10°	0.1 20°	0.2, 10°	0.2, 20°
등화기 사용	0.002260	0.013365	0.004796	0.023173
등화기 미사용	0.005709	0.022716	0.009507	0.033594

적응 등화기를 사용함으로써 페이딩 지수와 반송파 위상 오차가 0.1, 10°일때는 60.4%, 0.1, 20°일때는 41.2%, 0.2, 10°일때는 49.6%, 0.2, 20°일때는 31.0%의 성능 개선을 이룰 수 있다.

또한, 10⁻³ 비트 오류율을 기준으로 적응 등화기를 사용할 경우 표 7과 같은 SNR 여유를 갖음을 알 수 있다.

표 7. 페이딩과 반송파 위상 오차에 따른 SNR 여유
Table 7. SNR margin for fading and carrier phase error

	페이딩 지수와 반송파 위상 오차			
	0.1, 10°	0.1 20°	0.2, 10°	0.2, 20°
ΔSNR [dB]	1.57	1.86	1.0	0.71

V. 결 론

본 논문에서는 신호의 가용 차원을 모두 사용하며, 제한된 통신로 상에서 높은 전송비를 얻을 수 있는 Q²PSK 변·복조 시스템을 대상으로 가우시안 잡음이 존재하는 2경로 레일레이 페이딩 채널에서의 시스템의 비트 오류 성능을 분석하였다.

채널을 통과하면서 왜곡된 신호에 의한 성능 저하와 이 왜곡된 신호에서 복원된 반송파를 사용함으로써

서 발생하는 비동기 복조에 의한 성능 저하를 개선하기 위하여 적응 LMS 알고리즘을 사용하는 TDL 등화기를 사용하였다.

성능 분석 결과 페이딩 지수와 반송파 위상 오차가 커질수록 성능이 열화됨을 확인하였다.

적응 등화기를 사용한 경우에 SNR이 12dB일때, 페이딩이 존재할 경우에는 83.7%, 반송파 위상 오차가 존재할 경우에는 89.3%, 그리고 페이딩과 반송파 위상오차가 같이 존재할 경우에는 60.4%의 수신 성능 개선이 있음을 확인하였다. 또한, 10⁻⁴ 비트 오류율을 기준으로 페이딩이 존재할 경우에는 1.86dB, 반송파 위상 오차가 존재할 경우에는 3.14dB의 SNR 여유를 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. D. Saha, "Quadrature-Quadrature Phase-Shifting Keying," IEEE Trans. Comm., Vol.37, pp.437-448, May 1989.
2. D. Saha, "Channel Coding with Quarture-Quarture Phase Shift Keying (Q²PSK) Signal," IEEE Trans. Comm., Vol.38, pp.409-417, Apr. 1990.
3. E. R. Ferrara, "Fast Implementation of LMS Adaptive Filters," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-28, pp.474-475, Aug. 1980.
4. S.S. Narayan, A.M.Peterson, M.J.Narasimha, "Transform Domain LMS Algorithm," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-31, No.3, June 1983.
5. B.Widrow et al., "Stationary and Nonstationary Learning Characteristics of the LMS Adaptive Filter," Proc. IEEE, vol.64, pp.1151-1162, Aug. 1976.
6. T. Nakai, et al., "Adaptive Equalizer for Digital Cellular Radio," IEEE, 41st. VTC, May 1991.
7. J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1983.
8. H. S. Keum, et al., "Performance Evaluation of Adaptive Equalizer in 3-Way Fading Channel considered Impulsive Noise and AWGN," 한국음향학회 논문집, 12권, 1E호, 1. 1993.

▲Hong-Sik Keum



1988. 3~1992. 2 : Dept. of Electronics Eng. CHUNGBUK NAT'L UNIV.
(Bachelor's Degree)

He is in the course of M.S. in the department of electronics engineering from March, 1992.

His interesting area is statistical communication system and adaptive filter applications.

▲Yong-Ro Kim



1986. 3~1991. 2 : Dept. of Electronics Eng. CHUNGBUK NAT'L UNIV.
(Bachelor's Degree)

He is in the course of M.S. in the department of electronics engineering from March, 1992.

His current research interests are in communication theory, digital communication systems, and its applications.

▲Heung-Gyoon Ryu : Vol.10, No.4, 1992.