

멀티패스 채널 환경하에서 NEC 구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK

편용국, 강기성, 임항빈, 심상홍*, 윤상옥**

강원도립대학 정보통신과, 삼척대학교 전기공학과, 강릉대학교 세라믹공학과

$\pi/4$ shift QPSK for NEC structure in multipath channels

Pyeon, Yong-Kug, Kang, Ki-Sung, Yim, Hwang-Bin, Shim, Sang-Heung*, Yoon, Sang-Ok**

Gangwon provincial univ., Samcheok Univ., Kangnung National Univ.**

Abstract

In this study, the $\pi/4$ shift QPSK(quadrature phase shift keying) with NEC(nonredundant error correction) on the multipath channel can detect the burst error as well as random error one by using the second and L-th order phase difference. Therefore, the BER(bit error rate) performance in $\pi/4$ shift QPSK is more improved than that of the $\pi/4$ shift QPSK without NEC structure. Also, this performance become a bit better in Rayleigh fading channel.

1. 서 론

Digital system과 mobile system에서는 system의 error 정정 능력을 필요로 한다. 이에 error 정정 능력을 향상시키고자 delay 요소를 포함하는 multipath channel 환경 하에서 NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK를 제안하고자 한다. digital mobile communication에서 각광 받고 있는 modulation 기법 중에 하나가 $\pi/4$ shift QPSK이다. $\pi/4$ shift QPSK는 digital cellular mobile communication system의 북미와 일본의 standard modulation method로 채택되어져 있다.^{1)~2)}

digital cellular mobile communications에서 주목 받고 있는 $\pi/4$ shift QPSK의 복조 단에 NEC구조 algorithm을 적용하여 성능 향상을 보고, fading channel에서의 Viterbi algorithm과 성능을 비교 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 mobile channel 환경

mobile communication에서 전파의 전송 특성은 mobility와 multipath 현상에 의한 레일레이 페이딩(Rayleigh fading)현상, 시간 지연 퍼짐(time delay spread)특성 등에 의하여 결정되어진다.⁸⁾

multipath fading 현상은 mobile communication channel에서 가장 일반적인 현상으로서, 송신단의 전송 신호가 지형, 지물에서 반사되어 서로 다른 경로를 통하게 되어 수신 단 에서 더해지거나 상쇄되어 amplitude가 불규칙하게 변하는 특성을 보

인다. multipath fading 현상은 건물이 많은 지역이나 지상에서 특히 심하며, 전송신호의 강도는 이동체가 신호 파장의 절반이 되는 거리를 움직이는 것을 주기로 증가하거나 감소하여, 이동체의 속도와 신호의 주파수가 높아짐에 따라 더욱 많은 변화를 발생시킨다. 이러한 현상을 fading 현상이라 하며, 신호 강도 envelope의 전계 분포는 Rayleigh distribution를 갖기 때문에 Rayleigh fading 현상이라 부른다.⁸⁾

이동체에서 수신되는 신호는 multipath 반사파의 수신에 의한 multipath 간섭 현상 및 이동체의 속도 변화에 따른 doppler 현상의 영향을 받는다. 즉, doppler 현상의 영향을 받은 여러 개의 multipath 반사파가 서로 더해져서 수신된 신호는 amplitude와 phase가 불규칙하게 변화하므로, fading 현상을 나타낸다.⁸⁾

이와 같이, multipath channel을 통해 수신된 신호의 envelope는 평균 신호 세기에 대해 Rayleigh distribution를 갖으며, 수신 신호의 phase는 $[0, 2\pi]$ 에서 $1/2\pi$ 균질 분포를 갖는다.

변조된 송신 신호 $s(t)$ 는

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos(w_c t + \theta(t)) \\ &= I(t)\cos(w_c t) - Q(t)\sin(w_c t) \\ &= \text{Re} [e^{j(w_c t + \theta(t))}] \\ &= \text{Re} [(I(t) + jQ(t))e^{jw_c t}] \end{aligned} \tag{2-1}$$

가된다. 송신신호 $s(t)$ 가 무선으로 multipath

fading 채널을 통과하여 이동체 속도 v 로 수신할 때 $r(t)$ 는

$$r(t) = \text{Re} \left[\sum_{i=0}^N a_i e^{j(\omega_c t + \theta(t) - \beta v t \cos \phi_i)} \right] \quad (2-2)$$

가 된다. 이동체 속도와 doppler 영향 때문에 다음과 같은 doppler 주파수 천이가 일어난다.

$$f_D = \frac{v}{\lambda} \cos \phi_i = f_D \cos \phi_i \quad (2-3)$$

이때, doppler 천이에 의해서 수신된 주파수는

$$f(\phi) = f_D \cos \phi + f_c \text{이고,}$$

$$f(-\phi) = f(-\phi) \text{이므로,}$$

스펙트럼의 확률 밀도 함수 (probability density function : PDF) $P(f)$ 는 다음과 같다.

$$P(f) = |df| = \{P(+\phi) + P(-\phi)\} |d\phi| \quad (2-4)$$

식 (2-3), 식 (2-4)로부터

$$P(f) = \frac{1}{\sqrt{f_D^2 - (f - f_c)^2} \{P(+\phi) + P(-\phi)\}} \quad (2-5)$$

수신된 신호의 전력스펙트럼 $R(f)$ 는 확률 밀도 함수 $P(f)$ 에 antenna gain $g(\phi)$ 를 곱한 형태이므로 다음과 같다.

$$R(f) = \frac{1}{\sqrt{f_D^2 - (f - f_c)^2} \{P(+\phi)g(\phi) + P(-\phi)g(\phi)\}} \quad (2-6)$$

식 (2-6)에서 omni-direction antenna의 경우 $g(\phi) = 1$ 이 되며, $P(\phi)$ 는 $-\pi$ 에서 $+\pi$ 까지 균일하므로 $P(\phi) = 1/2\pi$ 이다. 따라서, omni-direction antenna를 사용하였을 경우 전력스펙트럼은 식 (2-7)와 같다.

$$R(f) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \sqrt{f_D^2 - (f - f_c)^2}} & : |f - f_c| \leq f_D \\ 0 & : |f - f_c| > f_D \end{cases} \quad (2-7)$$

이러한 fading 현상으로 인해 digital mobile system에서 부호화된 data가 전송될 때 random error 및 burst error가 유발되므로 system의 error

확률이 낮아진다. 또한 수신된 신호 $r(t)$ 는 식 (2-2)에서

$$r(t) = \text{Re} \left[\sum_{i=1}^N (R_i + jS_i) e^{j(\omega_c t + \theta(t))} e^{-\beta v t \cos \phi_i} \right]$$

$$= \text{Re} \left[\sum_{i=1}^N \{ R_i \cos(\beta v t \cos \phi_i) + S_i \sin(\beta v t \cos \phi_i) + j(S_i \cos(\beta v t \cos \phi_i) - R_i \sin(\beta v t \cos \phi_i)) \} e^{j(\omega_c t + \theta(t))} \right] \quad (2-8)$$

이다. 여기서,

$$N_I(t) = \sum_{i=1}^N \{ R_i \cos(\beta v t \cos \phi_i) + S_i \sin(\beta v t \cos \phi_i) \}$$

$$N_Q(t) = \sum_{i=1}^N \{ S_i \cos(\beta v t \cos \phi_i) - R_i \sin(\beta v t \cos \phi_i) \} \quad (2-9)$$

이라 하면, $N_I(t)$, $N_Q(t)$ 는 평균이 0인 가우시안 잡음이 차단 주파수가 doppler 주파수인 저역 통과 여파기(LPF: low pass filter)를 통과한 신호이다[8]. 식 (2-9)를 식 (2-8)에 대입하면,

$$r(t) = \text{Re} \left[(N_I(t) + jN_Q(t)) e^{j(\omega_c t + \theta(t))} \right]$$

$$= N_I(t) \cos(\omega_c t + \theta(t)) - N_Q(t) \sin(\omega_c t + \theta(t)) \quad (2-10)$$

수신신호 $r(t)$ 의 envelope $r_e(t)$ 는

$$r_e(t) = \sqrt{(N_I^2(t) + N_Q^2(t))} \quad (2-11)$$

이며, 이것의 확률 밀도 함수 $P(r_e)$ 는

$$P(r_e) = \frac{r_e}{\sigma^2} e^{-\frac{r_e^2}{2\sigma^2}} \quad (2-12)$$

가 되며, 여기서, $E[r_e^2(t)] = E[N_I^2(t)] + E[N_Q^2(t)] = 2\sigma^2$ 이다. 이것은 Rayleigh 함수로 잘 알려져 있다. 즉, multipath fading을 통과한 수신 신호의 envelope는 Rayleigh distribution를 갖는다.

2.2. mobile channel modeling

multipath channel은 복소수의 impulse response 을 갖는 linear filter로 modeling 할 수 있다. 특히, 도심 지역의 fading 현상을 효율적으로 simulation 하기위해 equivalent base band 2-ary model을 선택한다. 2-ary model은 desired wave와 undesired wave로 modeling되며, 수신신호 $r(t)$, 송신신호 $s(t)$, 반사파의 수신신호 $\rho s(t-\tau)$ 는

$$\begin{aligned} r(t) &= s(t) + \rho s(t-\tau) \\ s(t) &= I(t)\cos(w_c t) - Q(t)\sin(w_c t) \\ \rho s(t-\tau) &= N_I(t)\cos(w_c t + \theta(t)) \\ &\quad - N_I(t)\sin(w_c t + \theta(t)) \end{aligned} \quad (2-13)$$

2.3. $\pi/4$ shift QPSK with NEC

$\pi/4$ shift QPSK의 복조 방식에는 동기 방식과 비 동기 방식으로 나눈다. mobile communication channel과 같은 multipath fading에서는 carrier frequency의 복원 능력이 감소하기 때문에 동기 방식보다 비 동기 방식을 쓰게 된다. 그러나, 비 동기 방식의 복조 성능은 동기 방식의 복조 성능보다 최소한 2.3dB의 성능 감소를 가져온다.2)

이러한 비 동기 복조의 성능을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 1991년 Feher에 의해 하나의 random error를 정정할 수 있는 nonredundant 방식을 제안하였다. 6)

제안된 방식들의 특징은 부가적인 signaling이나 bandwidth, power의 증가를 요구하지 않는다는 것이다. 따라서, $\pi/4$ shift QPSK에서 정보가 두 연속된 채널 신호의 위상차에 포함된다는 것을 좀 더 확장시켜, 연속된 L개의 burst error 정정을 가지는 NEC구조를 이용하여 $\pi/4$ shift QPSK를 설계한다.

NEC구조를 가지는 $\pi/4$ shift QPSK에 대한 digital 전송의 경우 정보 data는 연속된 두 채널 신호의 위상차에 포함되어 전송되므로, 채널 신호

$$s_i \quad (iT_s \leq t < (i+1)T_s) \text{는}$$

$$\begin{aligned} s_i &= e^{j(\theta_{(i-L)} + \Delta\theta_{(i-L+1)} + \dots + \Delta\theta_i)} \\ &= s_{(i-L)} e^{j(\Delta\theta_{(i-L+1)} + \dots + \Delta\theta_i)} \end{aligned} \quad (2-14)$$

가 된다. 여기서,

$$\Delta\theta_i = \frac{\pi}{4} \cdot a_i$$

(2-15)

단, $a_i = 1, 3, 5, 7$ 로 쓸 수 있다.

송신되는 신호에서 정보를 추출하기 위해서 수신 단에서는 연속된 두 채널 신호의 위상차를 구하게 되는데, 그것은 현재 수신된 신호와 바로 전에 수신된 신호 사이의 위상차로서 구한다. 그 결과는 식 (2-16)과 같다.

$$\Delta\theta_i^r = \theta_{iL}^r - \theta_{(i-L+1)}^r \quad (2-16)$$

이러한 위상차를 이용하여 1차, 2차 및 L차 검파기를 이용하면, 하나의 random error뿐만 아니라 burst error를 검출할 수 있다.

본 장에서는 NEC구조의 $\pi/4$ shift QPSK에 대한 1차,2차 및 L차 알고리즘을 제시한다.

먼저, 수신단에서 1차 검파되는 과정은 현재 위상에서 바로 전 위상을 뺀으로서 이루어지고, 2차 검파는 현재 위상에서 바로 전 전 위상을 뺀으로서 이루어진다.

1,2차 검파와 같은 방법으로 L차 까지의 검파 과정이 이루어지며, 식 (2-17)과 같다.

$$\begin{aligned} d_{1i(NEC)}^r &= \theta_i^r - \theta_{i-1}^r \\ d_{2i(NEC)}^r &= \theta_i^r - \theta_{i-2}^r \\ d_{3i(NEC)}^r &= \theta_i^r - \theta_{i-3}^r \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ d_{ki(NEC)}^r &= \theta_i^r - \theta_{i-k}^r \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ d_{Li(NEC)}^r &= \theta_i^r - \theta_{i-L}^r \end{aligned} \quad (2-17)$$

$: k = 1 \sim (L-1)$

만약, noise가 없는 channel이라면, 식 (2-17)은 식 (2-18)의 형태로 나타낼 수 있고, 다음과 같은 형태로 검파된다.

$$\begin{aligned} d_{Li(NEC)} &= (\theta_i^r + \theta_{i-L}^r) \text{ Mod } 2\pi \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{j=0}^{L-1} (a_{i-j}) \text{ Mod } 8 \end{aligned} \quad (2-18)$$

이렇게 L차 위상차를 이용하여 수신된 정보에 ISI와 AWGN이 추가되면, 식 (2-19)와 같이 표현

된다.

$$d_{Li(NEC)} = \sum_{j=0}^{L-1} (a_{i-j} + e_{Li}) \quad (2-19)$$

식 (2-19)에서 정보에 포함된 error의 범위는 식 (2-18)와 같으며, 이 범위 내에서는 error가 존재시 정정할 수 있다.

$$(2\pi/m)e_{Li} - (\pi/m) \leq (e_i - e_{i-j}) \text{ Mod } 2\pi \leq (2\pi/m)e_{Li} + (\pi/m) \quad (2-20)$$

$j: 0 \sim (L-1)$

식 (2-20)과 같은 error 범위 내에서 error가 정보에 포함되었을 때 수신된 error를 정정하기 위한 L차 검파인 경우의 syndrome $S_{(L-1)i}$ 와 $G_{(L-1)i}$ 를 정의하면 식 (2-21)과 같다.

$$S_{(L-1)i} = \left[\sum_{j=0}^{L-1} d_{1(i-j)} - d_{Li} \right] \text{ Mod } 8$$

$$= \left[\sum_{j=0}^{L-1} e_{1(i-j)} - e_{Li} \right] \text{ Mod } 8$$

$$G_{(L-1)i} = [S_{(L-1)i} - E_{1(i-L+1)}] \text{ Mod } 8 \quad (2-21)$$

여기서, $E_{1(i-L+1)}$ 는 channel noise $e_{1(i-L+1)}$ 을 estimation한 값이고, 만일 $e_{1(i-2L+1)}$ 의 noise가 올바르게 평가되어 0(zero)이라고 가정하면,

$$G_{L-1, i-L+1} = [S_{L-1, i-L+1} - E_{1(i-2L+2)}] \text{ Mod } 8$$

$$= \left[\sum_{j=0}^{L-1} e_{1(i-L+1-j)} - e_{Li} - E_{1(i-2L+2)} \right] \text{ Mod } 8$$

$$= \left[\sum_{j=0}^{L-2} e_{1(i-L+1-j)} - e_{Li} \right] \text{ Mod } 8 \quad (2-22)$$

만일, $e_{1(i-j)} (j=0, 1, \dots, L-2)$ 와 e_{Li} 에 $L-1$ 이하의 error만이 있다면, 식 (2-23)에 의해 error $E_{1(i-L+1)}$ 을 평가할 수 있다.

$$E_{1(i-L+1)} = \begin{cases} 0, & \text{if } S_{L-1, i} \neq G_{L-1, i-L+1} \\ N, & \text{if } S_{L-1, i} = G_{L-1, i-L+1} = N \end{cases} \quad (2-23)$$

따라서, 정보가 포함된 신호 $d_{1(i-L+1)(NEC)}$ 을 식 (2-24)와 같이 함으로서 error를 수정하고 정확한 data를 복원할 수 있는 것이다.

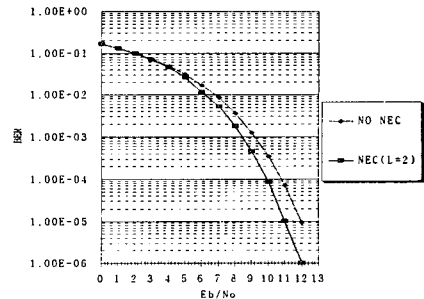
$$d_{1(i-L+1)(NEC)} - E_{1(i-L+1)} = a_{1(i-L+1)} \quad (2-24)$$

3. 실험 및 결과고찰

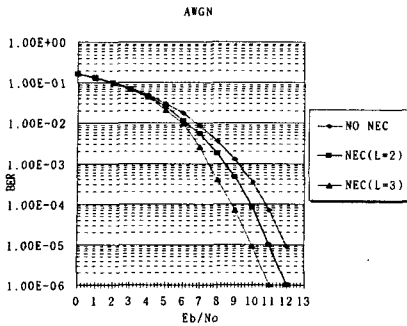
$\pi/4$ shift QPSK의 BER 성능을 향상시키기 위해 1970년 Schroeder와 Sheehan에 의해 처음으로 제안된 NEC구조를 적용한다. 5)~6) NEC구조의 특징은 기존의 error correction 방법과 달리 전송 신호의 redundancy를 요구하지 않는다는 것이다. 본 장에서는 $\pi/4$ shift QPSK에 NEC구조를 적용하여, system의 성능을 향상시키고자 AWGN에 적용하고, fading에 의한 burst error도 함께 발생하는 mobile communication channel에서도 성능이 향상됨을 알아본다.

제안된 NEC구조를 적용한 복조 방법의 error 정정 능력은 부가적인 bandwidth을 이용하지 않고 이루어지기 때문에 두 개 혹은 더 많은 time slot에 의해 지연된 수신 신호를 이용한 차동 검파기의 출력을 적용한다. simulation에서는 기존의 $\pi/4$ shift QPSK의 성능을 향상시키고자 하나의 random error뿐만 아니라 burst error를 정정할 수 있는 system인 NEC구조의 L차(L=2, 3인 경우) 검파기를 통하여 $\pi/4$ shift QPSK의 성능을 분석하는 것이다.

simulation의 결과는 그림 3-1에 각각 나타내었다. digital communication system의 data 전송을 위한 10⁻⁵ BER에서 성능을 비교해 보면 NEC구조를 이용하지 않은 $\pi/4$ shift QPSK의 SNR(signal to noise ratio)은 12dB이며, NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK(L=2인 경우)의 SNR은 11dB로서 1dB 향상되었고, NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK(L=3인 경우)의 SNR은 10dB로서 2dB 향상되었다. 또한, fading channel에서도 성능이 향상됨을 그림 3-2에 나타내었다.



(a) L=2인 경우



(b) L=3인 경우

그림 3.1 AWGN channel에서의 성능분석.

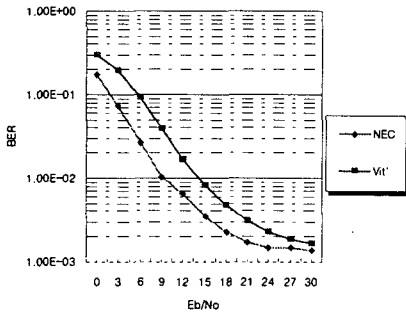


그림 3.2 Rayleigh fading channel에서의 성능 분석.

4. 결 과

NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK는 정보 data가 연속된 두 채널 신호의 위상차에 포함하여 전송하기 때문에 송신된 정보 data를 추출하기 위해서는 기본적으로 1차 위상차를 추출한다.

본 논문에서는 2차 및 L차 위상차를 syndrome으로 사용하여, 하나의 random error뿐만 아니라, burst error도 검출할 수 있는 NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK의 algorithm을 제시한다. NEC구조를 이용한 $\pi/4$ shift QPSK가 L=2인 경우, BER 성능은 1dB향상 되었고, L=3인 경우, BER 성능은 2dB향상 되었다.

또한, Rayleigh fading channel에는 다소 성능이 향상되었으나, 30dB에서 비트 에러율은 10^{-3} 에 미치지 못함을 알 수 있다. 본 논문에서 제시한 algorithm의 성능은 AWGN에서는 성능이 우수하였으나, burst error로 인한 error 지연이 발생하였다. 따라서, L값을 무한대로 보낸다면 error 정정 능력이 더욱 향상될 것으로 기대되고, burst error pattern의 좀더 깊은 연구가 같이 수행되어진다면

더욱 향상된 성능을 기대할 수 있다.

참고 문헌

- [1] EIA/TIA INTERIM STANDARD IS-54 Cellular System Dual Mode Mobile Station Base Compatibility, Dec. 1989.
- [2] K. Feher, "MODEMS for emerging digital cellular-mobile radio system," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. 40, No.2, pp. 355~365, May 1991.
- [3] C. L. Liu and K. Feher, " $\pi/4$ -QPSK Modems for satellite sound/data broadcast systems," *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. 37, No. 1, pp.1~8, Mar. 1991.
- [4] S. Samejima, K. Enomoto and Y. Watanabe, "Differential PSK system with nonredundant error correction," *IEEE Journal Selected Areas Commun.*, Vol. SAC-1, No.1, pp.74~81, Jan. 1983.
- [5] T. Masamura, S. Samejima, Y. Morihire and H. Fuketa, "Differential detection of MSK with nonredundant error correction," *IEEE Trans. Commun.*, Vol COM-27, No.6, pp. 912~918, June 1979.
- [6] J. Yang and K. Feher, "An improved $\pi/4$ QPSK with nonredundant error correction for satellite mobile broadcasting," *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. 37, No.1, pp.9~16, Mar. 1991.
- [7] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and applications*, Prentice Hall, pp. 142~407, 1988.
- [8] R. H. Clarke, "A statistical theory of mobile radio reception," *Bell System Technical Journal*, Vol. 46, pp. 417~448, Feb. 1967.
- [9] S. Yoshida, F. Ikgami and T. Takeuchi, "Causes for burst error in multipath fading channel," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.36, No.1, pp.107~113, Jan. 1988.
- [10] Seung-Geun Kim, Wooncheol Hwang, Youngsun Kim, Youngkou Lee, Sungsoo Choi, and Kiseon Kim, "Fully digital preambleless 40 Mbps QPSK receiver for burst transmission," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E84-C, no. 2, pp. 175-182, Feb. 2001