

박 정 훈  
한국전자통신연구소

### A Study of $\pi/4$ -shift QPSK Modulation Scheme

Park Jeong - Hoon  
ETRI

#### Abstract

In this paper, the characteristic of  $\pi/4$ -shift QPSK modulation scheme are described with QPSK modulation. The results of computer simulation show that  $\pi/4$ -shift QPSK modulation scheme has good characteristics for digital mobile communications.

#### 가. 서론

최근에 이동통신 수요가 급격히 증가 되고 있는데 한정된 주파수 효과적으로 활용하기 위해 스펙트럼 효율(Spectrum Efficiency)이 높은 변조방식이 요구된다.

일반적으로 선형 변조(Linear Modulation)는 GMSK[1], TFM[2] 같은 정진폭 변조(Constant Envelope Modulation)보다 좁은 대역폭(Bandwidth)으로 정보를 전송할 수 있다.

그러나 정진폭 변조방식(Constant Envelope Modulation)은 신호의 진폭(Envelope)에 정보를 전송하지 않음으로 정보를 전송할 때 신호의 파형은 엄격한 충실도(strict fidelity)를 유지하지 않아도 된다. 그러므로 전력 효율(Power Efficiency)이 좋은 비선형 증폭기를 사용할 수 있다.

선형 변조방식(Linear Modulation)은 신호의 파형(waveform)은 신호의 진폭에 정보를 전송하므로 신호의 파형은 엄격한 충실도를 가지고 전송되어야 함으로 선형 증폭기(Linear Amplifier)를 사용하여 변조신호를 전송해야 한다. 그런데 선형 증폭기는 전력효율(Power Efficiency)가 높지 않기 때문에 비선형 증폭기를 사용하면서도 비선형을 보상하는 회로를 이용하여 선형 증폭을 행하는 연구가 진행중이다[3]

본 논문에서는 최근에 디지털 이동통신에 사용되는 변조방식 중에서 기존 FM 변조를 이용하는 아날로그 셀룰라 시스템(예, AMPS)과 호환성이 있으며 매우 좁은 대역폭을 갖는 선형 변조방식인  $\pi/4$ -shift QPSK 변조 방식[4][5][6]을 QPSK 변조방식과 비교 서술한다.

#### 나. 변조

스펙트럼 효율(Spectrum Efficiency)이 높은 선형 변조방식 비선형 증폭기를 사용할 때 변조파의 진폭변화를 가능하면 작게하여 스펙트럼의 확산을 최소화 하는 변조방식이 요구된다. 또한 multipath fading 같은 이동통신 환경에서 복조방식으로는 코히런트 검파(Coherent Detection)보다는 메이팅 환경에 강한 논코히런트검파(Non Coherent detection)가 요구된다.

QPSK 변조방식은 최대 위상변화  $\pi$ 에서 최대 100% 진폭변동(envelope fluctuation)이 생김으로 비선형 증폭시 스펙트럼의 확산이 크다.

OK-QPSK 변조방식은 최대위상 변화가  $\pi/2$ 이므로 QPSK 보다는 진폭변동이 작음으로 비선형 증폭시 스펙트럼의 확산은 작으나 논코히런트 검파(Non coherent detection)을 사용시 QPSK 보다 성능이 저하되는 문제점이 있다.[7]

$\pi/4$ -shift QPSK 변조방식은 QPSK 와 OK-QPSK 와의 타협안이라고 간주 될 수 있으며 최대위상 변화는  $2\pi/3$  인으로 비선형 증폭시 OK-QPSK 보다는 나쁘지만 QPSK QHEK 보다는 우수한 스펙트럼을 얻을 수 있으며, 복조방식으로 코히런트 검파, 지연검파 뿐만 아니라, limiter-discriminator 검파도 가능하다. 위의 BER 에서 설명한대로 coherent detection 이 limiter-discriminator 검파 보다 Static BER(Bit Error Rate)은 우수하지만, coherent 검파에서는 수신신호를 증폭시 AGC(Automatic Gain Control)를 필요로 한다. coherent 검파 방식과 비교할 때 limiter-discriminator 검파 방식은 AGC 가 필요없고 limiter 증폭기를 사용함으로써 제작이 쉽다. 또한 기존 아날로그 FM 셀룰라 시스템의 discriminator 를 limiter-discriminator 의 일부로 사용할수 있으므로 기존 시스템과의 호환성 면에서 우수하다. 기존 아날로그 시스템과의 호환성은 디지털

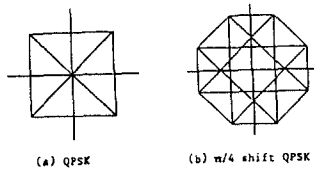
셀룰라 시스템의 초창기에 있어서는 이동 단말기가 아날로그 및 디지털 시스템 호환성이 있어야함으로 매우 중요하다.

더욱이 coherent 검파는 수신기에서 수신되는 신호의 캐리어 성분과 동기되는 캐리어 성분과 동기되는 기준 캐리어를 재생해야 하는데 강한 페이딩에서는 이와 같은 캐리어 재생이 거의 불가능하다. 그러나 limiter-discriminator 검파에서는 복조하기 위해서 캐리어를 재생할 필요가 없음으로 페이딩에 강하다. <표 4-1>에 QPSK coherent 검파와  $\pi/4$ -shift QPSK의 coherent detection 및 limiter-discriminator detection 을 비교하였다.

<표 1> QPSK 와  $\pi/4$ -shift QPSK 의 비교

Contents	QPSK/ coherent detection	$\pi/4$ shift QPSK/ coherent detection	$\pi/4$ shift QPSK/ discriminator detection
BER(no fading)	Good	Good	Poor
Receiving amplifier	AGC	AGC	Limiter amplifier
Compatibility with analog system	Poor	Poor	Good
Synchronous carrier regeneration	Necessary	Necessary	Not necessary
Bit sequence independence	No	Yes	Yes

QPSK 와  $\pi/4$ -shift QPSK 의 신호점 배치도(signal constellation)를 (그림 1)에 도시했다. (그림 1)에서 알 수 있듯이  $\pi/4$ -shift QPSK 는 QPSK 신호를 매 신호 주기마다  $\pi/4$  전이 시킴으로써 8 point 의 신호점을 갖으며 대역폭(bandwidth)은 QPSK 와 동일하다.



(그림 1) QPSK,  $\pi/4$ -shift QPSK 신호점 배치도

$\pi/4$ -shift QPSK 신호의 송신단 구성을 (그림 2)에 나타낸다.

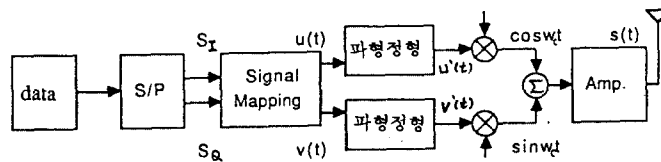
(그림 2)의 S/P에서 serial data를 parallel data로 변화시킨다.  $\pi/4$ -shift QPSK 변조가 QPSK 변조와 차이점은 (그림 2)의 signal mapping 부분이 있다는 점이다. S/P의 출력 data인  $S_I, S_Q$ 를 signal mapping 하여  $U_k, V_k$ 로 변화하는 과정은 식(1)로 표현된다. [8]

$$\begin{aligned} U_k &= U_{k-1} \cos \hat{\theta}_k - V_{k-1} \sin \hat{\theta}_k \\ V_k &= U_{k-1} \sin \hat{\theta}_k + V_{k-1} \cos \hat{\theta}_k \end{aligned} \quad (1)$$

는 signal mapping에 입력되는  $S_I, S_Q$ 에 따라 <표 2>처럼 된다.

<표 2>  $S_I, S_Q$  와의 관계

$S_I$	$S_Q$	$\theta_k$
0	0	$-\pi/4$
0	1	$-3\pi/4$
1	0	$\pi/4$
1	1	$3\pi/4$



(그림 2)  $\pi/4$ -shift QPSK의 송신단 구성도

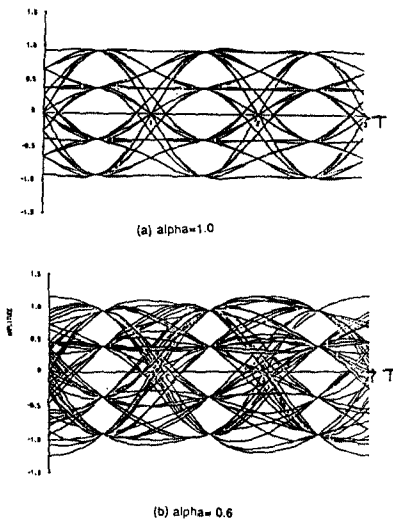
o. 파형 정형 (Waveform Shaping)

신형 변조 방식에서는 일반적으로 효과적인 대역제한을 하기 위해 베이스 밴드에서 파형정형을 Raised Cosine Filter 를 이용하여 한다. Raised Cosine Filter 의 임펄스 응답은 식(2) 의  $h(t)$  와 같다.

$$h(t) = \frac{\text{SIN}(2\alpha t/T)}{\pi t/T} \cdot \frac{\text{COS}(\alpha t/T)}{1 - 4\alpha^2(t/T)^2} \quad (2)$$

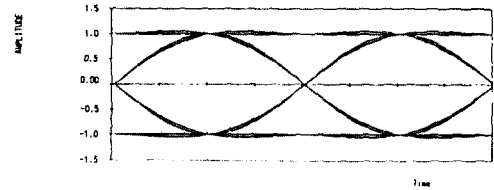
$\alpha$  (alpha): Roll off factor

파형 정형을  $\alpha = 1.0$  및  $0.6$  에서 Raised Cosine Filter 로 할 경우  $\pi/4$  - shift QPSK 와 QPSK 의 눈 모양은 (그림 3) 및 (그림 4) 과 같다.

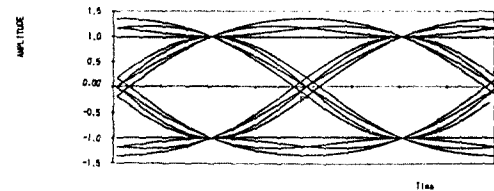


(그림 3)  $\pi/4$  - shift QPSK 의 베이스 밴드 파형정형 후 눈모양  
(a)  $\alpha = 1.0$ , (b)  $\alpha = 0.6$

(그림 2) 의  $\pi/4$  - shift QPSK 송신단 구성도에 data 1010(01010011011011001111)0111 가 입력 될 때  $U(t)$ ,  $V(t)$  및 파형정형 된  $U(t)$ ,  $V(t)$  의 시간축에서의 파형, 고주파의 변조된 신호 및 최종 합성 신호의 파형을 (그림 5) 에 도시했다.

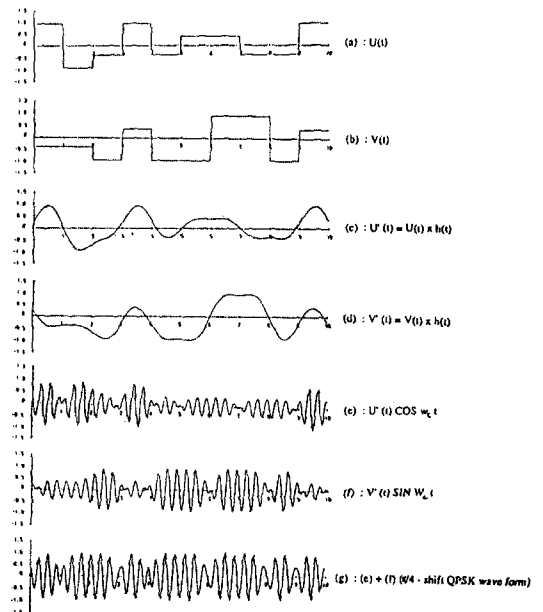


(a)  $\alpha = 1.0$



(b)  $\alpha = 0.6$

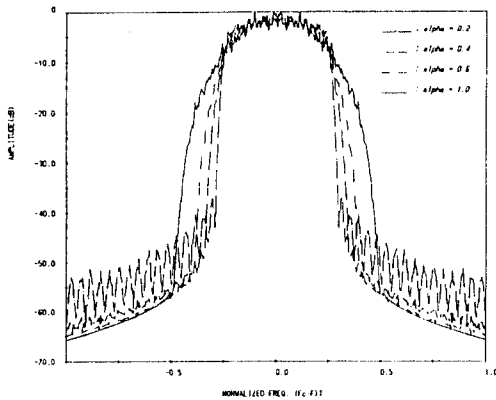
(그림 4) QPSK 신호의 베이스 밴드 파형정형 후 눈모양  
(a)  $\alpha = 1.0$ , (b)  $\alpha = 0.6$



(그림 5)  $\pi/4$ -shift QPSK 송신단 구성도의 주요지점에서 파형

다. 전력 밀도 ( POWER SPECTRUM)

QPSK 신호의 전력밀도를 베이스 밴드 신호를 DFT(Discrete Fourier Transform) 을 취하여 구하였다. QPSK, DQPSK, OQPSK,  $\pi/4$ -shift QPSK 등 모든 종류의 QPSK 신호의 전력밀도는 같은 전력밀도를 얻을 수 있었다. (그림 6) 는 베이스밴드 신호를 나이퀴스트 필터(Nyquist Filter) 로 파형정형 시 Rolloff Factor ( alpha)에 따른 OQPSK 신호의 전력 밀도를 함께 나타내었다.



(그림 6) alpha 값의 변화에 따른 QPSK 신호의 전력밀도

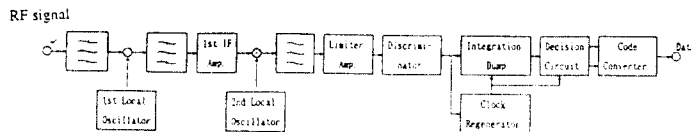
라. 복조 및 오율

OQPSK 신호의 코히런트 검파 방식의 BER(Bit Error Rate) 는 [ 10 ]

$$P(d) = \text{erfc}(\sqrt{2\rho}) \quad (3)$$

$\rho$ : S/N(신호 대 잡음 비)

다음으로 기존 아날로그 시스템과 공유할 수 있는 limiter-discriminator 검파 방식의 BER 에 대해서 살펴보면, 먼저 수신기의 구조는 (그림 7) 와 같다. [4]



(그림 7)  $\pi/4$ -shift QPSK 의 limiter-discriminator 검파 방식의 블럭다이어그램

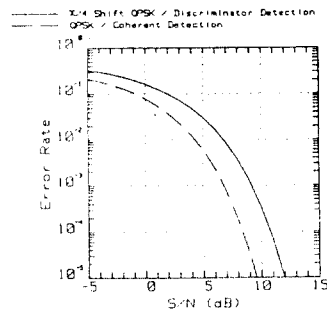
(그림 7)와 같은 limiter-discriminator 검파 방식을 이용한  $\pi/4$  QPSK 신호의 오율은 식( 4)와 같다. [ 1 ]

$$P(d) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_a(\phi_1 | \theta_1) P_a(\phi_2 | \theta_2) d\phi_2 d\phi_1 \quad (4)$$

$$P_a(\phi/\theta) = (1/2\pi) \exp(-2\rho) + \sqrt{2\rho/\pi} \cos(\theta-\phi) \exp\{-2\rho \sin^2(\theta-\phi)\} \cdot \text{erfc}(\{-2\sqrt{\rho} \cos(\theta-\phi)\})$$

$$\text{erfc}(x) = \int_x^{\infty} (1/\sqrt{2\pi}) \exp(-u^2/2) du$$

(그림 8)에 Coherent 검파 일때 BER 식(3) 과 limiter-discriminator 검파 일때 BER 식(4) 를 도시했다. (그림 8)에서 볼 수 있듯이 Coherent 검파 방식이 Static BER  $10^{-2}$  에서 limiter-discriminator 검파 방식 보다 약 2.5 dB 이득이 있다.



(그림 8)  $\pi/4$ -shift QPSK 의 코히런트 BER

마 결론

본 논문에서는  $\pi/4$  shift QPSK 변조 방식을 QPSK 변조 방식과 비교 검토하여,  $\pi/4$  shift QPSK 변조 방식은 대역제한 시 전력 밀도는 QPSK 신호와 동일하지만 변조신호의 진폭변화는 QPSK 신호에 비해 작음으로 비선형 증폭기의 사용이 용이하며 limiter-discriminator 검파 방식을 사용할 수 있음으로 기존의 시스템과 호환성이 있는 디지털 이동통신용 변조방식으로 타당성을 보였다.

참고문헌

1. K. Murota and K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile telephony", I E E E Trans. commun., 1981, COM-29, (6), pp.1044 - 1050
2. DE JAGER, F., and DEKKER, C.B., "Tamed frequency modulation, a novel method to achieve spectrum economy in digital transmission", I E E E Trans Commun., 1978, COM-26, (5), pp.534 - 542
3. AKAIWA, Y., and NAGATA, Y., "Highly efficient digital mobile communication with a linear modulation method", I E E E J Sel. Areas Commun., 1987, SAC-5, (5), pp. 890 - 895
4. Shigeru One, Noraki Kondoh, and Yoshihito Shimazaki, "Digital cellular system with Linear Modulation", Conf. Record of the I E E E Vehicular Technology conference, VTC-89, May 1989.
5. K. Rathi, B. Hedberg, G. Larsson and R. Kahn, "Performance of a Digital Cellular Experimental Testbed", Conf. Record of the I E E E Vehicular Technology Conference, VTC-89, May 1989
6. 디지털 이동통신 시스템개발, 한국전자통신연구소, 1989 12
7. Kenichi Fujimoto, Kazuaki Uchida, "Performances of QPSK and offset-QPSK signal passing class-A, -C Power Amplifier", CS-88-107
8. Chia-Liang Lau, Kamilo Feher, "Noncoherent Detection of  $\pi/4$ -QPSK systems in a CCI-AWGN combined interference Environment", Conf. Record of the I E E E Vehicular Technology Conference VTC-89, May 1989.
9. Kamilo Feher, "Digital communication", Prentice-hall, 1981