

신동인 김남선 한영렬  
한양대학교 전자통신공학과

## A Design of Signal Mapper for $\pi/4$ -shift QPSK Modulation System

SHIN, DONG IN KIM, NAM SUN HAN, YOUNG YEURL  
Dept. of Electronic Commun. Engineering, Hanyang Univ.

### Abstract

In this paper, signal mapper of  $\pi/4$ -shift QPSK is introduced and described. An experimental signal mapper was constructed to study the feasibility of this technique from the H/W standpoint. It is found that the proposed signal mapper can be used in  $\pi/4$  shift QPSK communication system.

## 1. 서론

최근 이동통신의 수요가 급격히 늘고 있는 반면 주파수 자원은 한정적이므로 효과적으로 이를 사용하기 위해서는 스펙트럼 효율이 높은 변조방식이 요구된다. 일반적으로 선형 변조방식은 정진폭(Constant Envelope) 변조 방식 보다 스펙트럼 효율이 좋으므로 좁은 대역폭으로 정보를 전달할 수 있는 장점이 있어 한정된 주파수대를 효율적으로 이용해야 하는 이동통신 시스템에서 잇점으로 작용하고 있다. 그러나 정진폭 변조방식은 변조된 신호의 진폭에 정보가 포함되어있는 것이 아니므로 신호의 진폭에 충실도를 기하지 않아도 된다. 즉 비선형 증폭기를 사용하여 전력효율을 높일 수 있다. 선형 변조방식은 변조된 신호의 진폭에 정보가 포함되어 있으므로 전송되는 신호의 진폭에 높은 충실도를 기하여 전송해야한다. 선형증폭기를 사용하는 경우에 이것은 문제가 되지 않는다. 그러나 전력 효율을 높이기 위해 정 진폭 변조방식이 아닌 선형 변조신호에 비선형증폭기를 사용하는 경우 스펙트럼이 확산되어 선형 변조방식을 통해 얻은 스펙트럼 효율을 격감시키고 심각한 인접 채널간섭을 일으키게 된다. 그러므로 스펙트럼 효율이 좋은 선형 변조방식에 비선형 증폭기를 사용하는 경우 스펙트럼의 확산을 최소화하기 위해 가능한 한 변조신호의 진폭변화가 적은 변조방식과 인접채널 간섭을 줄일 수 있는 방법이 요구된다. 또한 다중경로에 의한 페이딩 현상이 존재하는 이동통신 환경에서는 동기 복조 방식보다 페이딩에 강한 비동기 복조의 성능이 양호한 변조 방식이 요구된다.

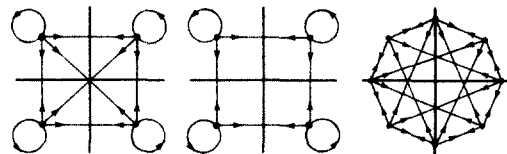
선형 변조방식인 QPSK 변조방식의 경우 위상편이가 최대  $180^\circ$ 에 이르므로 진폭의 변화가 심하게 되어 비선형 증폭기를 사용하는 경우 스펙트럼의 확산이 크다. 또한 OQPSK 변조방식은 최대 위상편이가  $90^\circ$ 이므로 QPSK 보다 스펙트럼 확산은 개선되나 비동기 복조시 QPSK보다 성능이 저하되는 문제점이 있다[2].  $\pi/4$ -shift QPSK 변조방식은 QPSK와 OQPSK의 절충안이라 볼 수 있으며 최대 위상편이가  $135^\circ$ 이므로 OQPSK 보다는 스펙트럼 확산이 크지만 QPSK보다 우수한 스펙트럼 특성을 얻을 수 있고 동기복조 뿐 아니라 지연 복조, Limiter Discriminator 복조의 성능도 우수하다[4].

최근 미국 육상 이동 무선통신 시스템은 Signal Mapping을 필요로 하는  $\pi/4$ -shift QPSK 변조방식을 차세대 변조방식으로서 채택하였다. 그러나 Signal Mapping 회로의 구현 방법은 아직 소개되지 않았다. 따라서 본 논문에서는  $\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 Signal Mapping 회로의 설계에 대해 고찰해 보고자 한다.

## 2. 본론

$\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 Signal Mapping의 선행 요건은 위상 배치가 특이한 방법으로 되어있어 정보신호가 샘플링 순간의 반송파의 위상차이에 들어있어야 한다는 점이다. 수신단에서는 정보를 얻기위해 두 개의 샘플링 순간 사이의 위상차이만을 얻어내면 된다.

QPSK와 OQPSK 그리고  $\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 신호점 배치는 (그림 1)과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 각 경우의 최대 위상 변화는  $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ 이다.



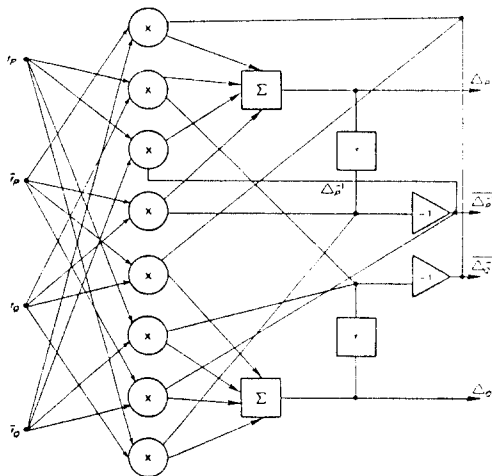
QPSK OQPSK  $\pi/4$ -shift QPSK

(그림 1) 신호점 배치도

$\pi/4$ -shift QPSK 변조방식이 DQPSK 변조방식과 다른 곳은 Signal Mapping 부분이다.  $\pi/4$ -shift QPSK의 경우와 비교하기 위해 (표 1)와 (그림 2)에 DQPSK의 Signal Mapping 회로와 입출력 관계를 보였다[1].

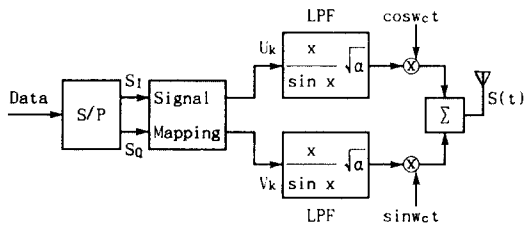
Output		$\Delta p$				$\Delta q$			
		$\Delta p_{-1}$		$\Delta q_{-1}$		$\Delta p_{-1}$		$\Delta q_{-1}$	
$t_p$	$t_q$	00	01	11	10	00	01	11	10
0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0

(표 1) DQPSK Signal Mapper의 입출력 관계



(그림 2) DQPSK의 Signal Mapper

$\pi/4$ -shift QPSK의 송신부는 (그림 3)와 같이 나타낼 수 있다.



(그림 3)  $\pi/4$ -shift QPSK 송신단 구성도

$\pi/4$ -shift QPSK의 실제 정보는 S/P(Serial-to-Parallel) 단을 거친 신호  $S_1, S_0$ 로서 QPSK와 같이 (00), (01), (10), (11)의 4가지이다. 따라서  $\pi/4$ -shift QPSK의 정보 신호의 절대위상은 4가지 뿐이다. 그러나 비선형 증폭시 스펙트럼 확산을 줄이기 위해 (식 1)을 사용하여  $U_k, V_k$ 를 만들으로써 실제 전송되는 신호의 위상은 8가지가 된다 [3][6].

$$U_k = U_{k-1} \cos \theta_k - V_{k-1} \sin \theta_k \quad (1-a)$$

$$V_k = U_{k-1} \sin \theta_k + V_{k-1} \cos \theta_k \quad (1-b)$$

이렇게 생성된  $U_k, V_k$ 의 레벨은 0,  $\pm 0.7, \pm 1$ 의 5가지이다. (표 2)는 실제 정보  $S_1, S_0$ 와  $U_k, V_k$ 간의 관계를 보여주고 있다. (표 2)에서 변조되는 신호는 DQPSK와 유사하게 차동 부호화됨을 알 수 있다. 입력 변수는 정보 신호인  $S_1, S_0$  (정보신호의 위상)와  $U_{k-1}, V_{k-1}$  (한 심플주기 앞선 위상)이고 출력 변수는 변조 신호인  $U_k, V_k$ 로서 이전 신호와 현재 신호사이의 상대위상 차이를 갖는다.

Input		Output					
		$S_1 S_0$	1 1	0 1	0 0	1 0	
$U_k$	$U_{k-1} V_{k-1}$	1 0	0.7	-0.7	-0.7	0.7	
		0.7 0.7	0	-1	0	1	
		0 1	-0.7	-0.7	0.7	0.7	
		-0.7 0.7	-1	0	1	0	
		-1 0	-0.7	0.7	0.7	-0.7	
		-0.7 -0.7	0	1	0	-1	
$V_k$	$U_{k-1} V_{k-1}$	1 0	0.7	0.7	-0.7	-0.7	
		0.7 0.7	1	0	-1	0	
		0 1	0.7	-0.7	-0.7	0.7	
		-0.7 0.7	0	-1	0	1	
		-1 0	-0.7	-0.7	0.7	0.7	
		-0.7 -0.7	-1	0	1	0	

(표 2) 실제정보  $S_1, S_0$ 와 신호  $U_k, V_k$ 간의 관계

$\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 Signal Mapper와 DQPSK Signal Mapper가 다른 가장 큰 이유는 실제 변조되는 신호와 정보 신호간의 차이에서 비롯된다. (그림 1)에서와 같이 DQPSK 시스템의 경우에는 변조되는 신호점의 배치와 실제 정보신호의 신호점 배치가 같은 형태를 갖고있다. 그러나  $\pi/4$ -shift QPSK시스템의 경우는 실제 변조되는 신호점이 정보신호의 신호점 이외에도 4개가 더 존재한다. 이는 전송되는 정보간의 상대 위상차가  $\pm 45^\circ, \pm 135^\circ$ 를 이루기 때문이다. 이러한 형태의 신호점 배치는 비 선형 증폭시 스펙트럼 효율을 높이는 효과를 가져오면서 Signal Mapping 과정이 DQPSK 시스템의 그것보다 더 복잡하게 한다.  $\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 Signal Mapper의 가장 큰 문제점은 입력 신호의 위상성분  $\theta_k(S_1, S_0)$ 로 결정과 이전 위상성분( $U_{k-1}, V_{k-1}$ )으로 새로운 위상 성분  $U_k, V_k$ 을 어떻게 결정해 내느냐 하는 점과 새로운 위상 성분  $U_k, V_k$ 가 각각 5개의 신호레벨을 갖도록 해야하는 점이다.

(식 1-a)와 (식 1-b)의 8개의  $\theta_k$ 를 얻기 위해 3개의 조합 A, B, C를 사용한다. 그리고 A, B, C의 조합에 대응하여  $U_k, V_k$ 로 결정되는 8개의 변조신호의 상대위상이 결정된다.  $U_k, V_k$ 와 A, B, C 그리고  $\theta_k$ 와 A, B, C조합과의 관계를 (표 3)에 보였다.

또한  $S_1, S_0, A_{-1}, B_{-1}, C_{-1}(U_{k-1}, V_{k-1})$ 을 결정에서 A, B, C를 얻어내는 방법은 (표 4)에 보였다. 따라서 변조되는 신호  $U_k, V_k$ 는 실제 정보  $S_1, S_0$ 와 이전의  $\theta_k$ 값인  $A_{-1}, B_{-1}, C_{-1}$ 의 5개 조합에 의해 결정된다.

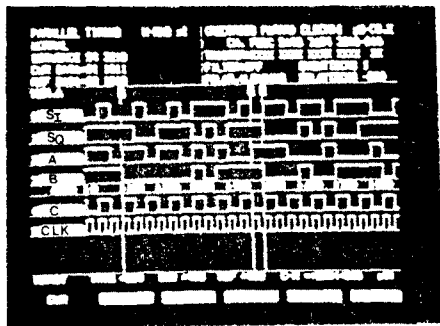
$U_k$	$V_k$	A	B	C	$\theta_k$
1	0	0	0	0	$0^\circ$
0.7	0.7	0	0	1	$45^\circ$
0	1	0	1	0	$90^\circ$
-0.7	0.7	0	1	1	$135^\circ$
-1	0	1	0	0	$180^\circ$
-0.7	-0.7	1	0	1	$225^\circ$
0	-1	1	1	0	$270^\circ$
0.7	-0.7	1	1	1	$315^\circ$

(표 3)  $U_k, V_k$ 와 A, B, C의 관계

$U_{k-1}$	$V_{k-1}$	A-1	B-1	C-1	$S_1$	$S_0$	$U_k$	$V_k$	A B C
1	0	0	0	0	1	1	0.7	0.7	0 0 1
					0	1	-0.7	0.7	0 1 1
					1	0	-0.7	-0.7	1 0 1
					1	1	0.7	-0.7	1 1 1
0.7	0.7	0	0	1	1	1	0	1	0 1 0
					0	1	-1	0	1 0 0
					1	0	0	-1	1 1 0
					1	1	1	0	0 0 0
0	1	0	1	0	1	1	-0.7	0.7	0 1 1
					0	1	-0.7	-0.7	1 0 1
					1	0	0.7	-0.7	1 1 1
					1	1	0.7	0.7	0 0 1
-0.7	0.7	0	1	1	1	1	-1	0	1 0 0
					0	1	0	-1	1 1 0
					1	0	1	0	0 0 0
					1	1	0	1	0 1 0
-1	0	1	0	0	1	1	-0.7	-0.7	1 0 1
					0	1	0.7	-0.7	1 1 1
					1	0	0.7	0.7	0 0 1
					1	1	-0.7	0.7	0 1 1
-0.7	-0.7	1	0	1	1	1	0	-1	1 1 0
					0	1	1	0	0 0 0
					1	0	0	1	0 1 0
					1	1	-1	0	1 0 0
0	-1	1	1	0	1	1	0.7	-0.7	1 1 1
					0	1	0.7	0.7	0 0 1
					1	0	-0.7	0.7	0 1 1
					1	1	-0.7	-0.7	1 0 1
0.7	-0.7	1	1	1	1	1	1	0	0 0 0
					0	1	0	1	0 1 0
					1	0	-1	0	1 0 0
					1	1	0	-1	1 1 0

(표 4)  $S_1, S_0, A-1, B-1, C-1$ 와 A, B, C의 관계

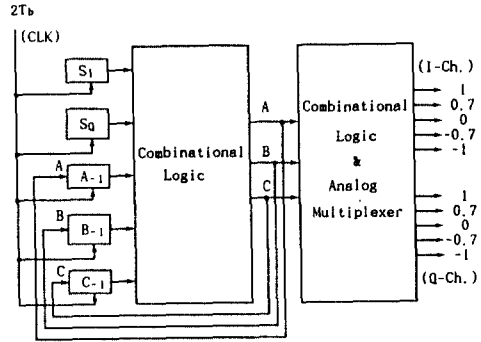
위의 표에서 얻은  $S_1, S_0, A, B, C$  그리고 대응하는  $\theta_k$ 의 관계는 (그림 4)에서 알 수 있다.



(그림 4)  $S_1, S_0$ 와 A, B, C 조합( $\theta_k$ )의 관계

$\pi/4$  shift-QPSK를 위한 Signal Mapper의 설계(90928)

이렇게 하여 얻은  $S_1, S_0$ 와 A, B, C를 사용하는 Signal Mapper의 전체 구성도는 (그림 5)과 같다.



(그림 5) Signal Mapper의 전체 구성도

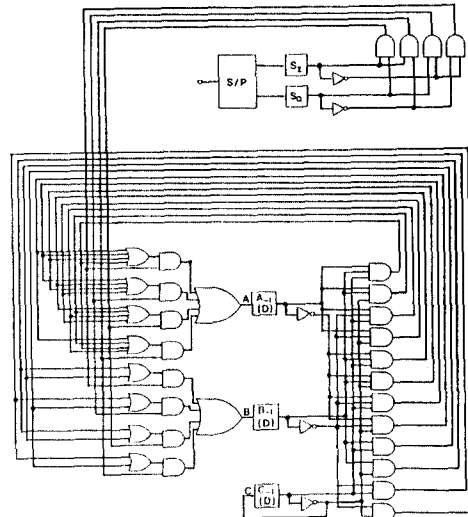
$S_1, S_0, A-1, B-1, C-1$ 를 사용하여 이에 대응하는 A, B, C의 논리식을 얻기위해 (표 4)을 사용하여 A, B, C를 간단히 하면 (식 2)과 같다.

$$A = \overline{S_1} \overline{S_0} (\overline{A-1} \overline{B-1} \overline{C-1} + \overline{A-1} \overline{B-1} C-1 + \overline{A-1} B-1 \overline{C-1} + \overline{A-1} B-1 C-1) + \overline{S_1} S_0 (\overline{A-1} \overline{B-1} C-1 + \overline{A-1} B-1 \overline{C-1} + \overline{A-1} B-1 C-1) + S_1 \overline{S_0} (\overline{A-1} \overline{B-1} C-1 + \overline{A-1} B-1 \overline{C-1} + \overline{A-1} B-1 C-1) + S_1 S_0 (\overline{A-1} \overline{B-1} C-1 + \overline{A-1} B-1 \overline{C-1} + \overline{A-1} B-1 C-1) \quad (2-a)$$

$$B = \overline{S_1} \overline{S_0} (\overline{B-1} C-1 + B-1 \overline{C-1}) + \overline{S_1} S_0 (\overline{B-1} C-1 + B-1 C-1) + S_1 \overline{S_0} (\overline{B-1} C-1 + B-1 \overline{C-1}) + S_1 S_0 (\overline{B-1} C-1 + B-1 C-1) \quad (2-b)$$

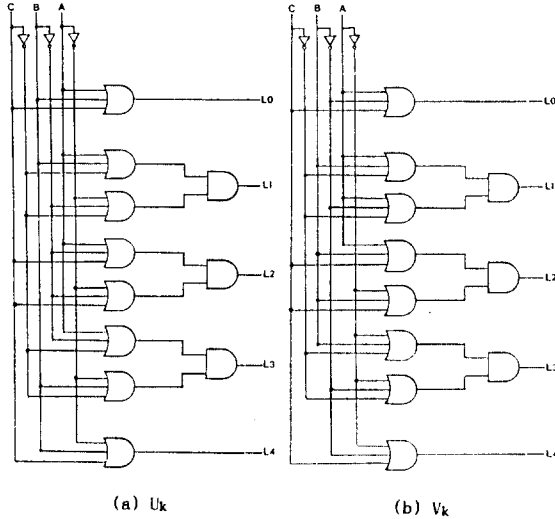
$$C = \overline{C-1} \quad (2-c)$$

(식 2)를 구현하면 (그림 6)과 같다.



(그림 6) A, B, C를 결정하기 위한 회로

(그림 6)의 A, B, C는 다시 I-Channel과 Q-Channel의  $U_k$ ,  $V_k$ 의 5가지 신호레벨 중 하나를 선택하기 위한 회로를 거쳐야 한다. I-Channel과 Q-Channel의  $\theta_k$ 값 즉  $U_k$ ,  $V_k$ 를 선택하는 회로를(그림 7)에 보였다. (표 4)에서도 알 수 있듯이 A, B, C 각각에 대응하는  $U_k$ ,  $V_k$ 를 얻기 위한 회로가 같을 수는 없다.

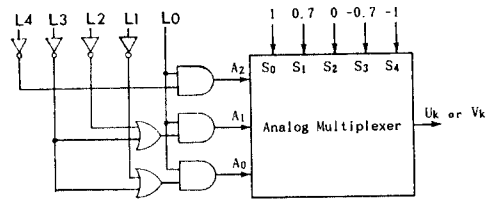


(그림 7)  $U_k$ ,  $V_k$ 를 선택하기 위한 회로

(그림 7)의 출력은 언제나 5개 중 하나만 Low이고 나머지는 모두 High가 되도록 출력한다. 그리고 5개의 변조신호레벨  $\pm 1, \pm 0.7, 0$  중에서 Low로 선택되는 신호레벨이 Analog Multiplexer를 통하여 출력된다. 이 MUX 단은 I-channel과 Q-channel이 모두 동일한 회로를 갖는다. 그러나 A, B, C의 조합에서 Low로 결정되는  $L_i$ 가 I-channel과 Q-channel에서 서로 같을 수 없으므로 MUX의 출력이 서로 같은 것은 아니다. 결과적으로 MUX의 출력( $U_k$ ,  $V_k$ )이 반송파에 실리게 되면  $\pi/4$ -shift QPSK 시스템의 변조신호가 완성된다. (표 5)는 (그림 7)의 출력과 Analog Multiplexer 입출력의 관계를 보여준다. Multiplexer의 입출력 관계회로는(그림 8)에 보였다.

Multiplexer Input					MUX Count			MUX Output
L0	L1	L2	L3	L4	A2	A1	A0	
0	1	1	1	1	0	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1	0.7
1	1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	1	1	-0.7
1	1	1	1	0	1	0	0	-1

(표 5) Analog Multiplexer의 진리표



(그림 8) Multiplexer 입,출력

### 3. 결론

본 논문에서는 QPSK 시스템과 OQPSK 시스템의 개선안인  $\pi/4$ -shift QPSK 변조방식의 Signal Mapper 회로의 설계에 대해 고찰하였다. (표 1)과 (그림 2)의 DQPSK 변조방식을 위한 Signal Mapper와 비교해 보면 약간 복잡 하지만 어렵지 않게 정보 신호를 Mapping 할 수 있었다. 또한 (그림 4)에서 보았듯이 실제 회로에 의해서도 쉽게 구현될 수 있음을 알 수 있었다.

### References

- [1] William W Wu, "Element of Digital Satellite Communication" Vol. I, Computer Science Press, 1984.
- [2] Yoshihiko Akaiwa and Yoshinory Nagata, "Highly Efficiency Digital Mobile Communications with a Linear Modulation Method", IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol. SAC-5, No.5, June, 1987.
- [3] Chia-Liang Liu and Dr. Kamilo Feher, "Noncoherent Detection of  $\pi/4$ -QPSK Systems in a CCI-AWGN Combined Interference Environment", 39th Veh. Technol. Conference Vol. 1, 1989, IEEE.
- [4] Steven H Goode, Henry L. Kazecki and Donald W. Dannis, "A Comparison of Limiter-Discriminator, Delay and Coherent Detection for  $\pi/4$  QPSK", 40th IEEE Veh. Technol. Conference, May, 1990.
- [5] Sirikiat Ariyavisitakul and Ting-Ping Liu, "Characterizing the Effects of Nonlinear Amplifiers on Linear Modulation for Digital Portable Radio Communications", GLOBECOM, Vol. 1 of 3, 1989.
- [6] 한 영렬, "Digital 이동 통신의 기술과 발전동향", 정보기술 연구소, 1990.
- [7] 김 남선, 신 동인, 한 영렬, "육상 이동 무선통신의 페이딩 채널에 대한 시뮬레이터의 구현과 특성 분석", 한국 통신학회 하계 종합 학술 발표회 논문집, 제 9권, 제 2호, 1990.