

## 임펄스잡음과 다중파 간섭환경하에서 채널부호기법에 의한 QPSK신호의 오율개선특성

공 병 옥\*, 김 순 석\*\*, 조 성 준\*\*  
한국항공대학 항공전자공학과, \*항공통신정보공학과\*\*

The Error Performance Improvement of QPSK Signal  
by Channel Coding Techniques in the Environment  
of Impulsive Noise and Multiple Interferer

\* Byung Ock KONG, \*\* Soon Suk KIM, and \*\* Sung Joon CHO  
Dept. of Avionics, \* Dept. of Telecommunication & \*\*  
Information Eng., Hankuk Aviation Univ.

**ABSTRACT** : The error rate performance of PSK signal(especially QPSK signal) transmitted through the impulsive noise and multiple interference channel have been analyzed with channel coding techniques such as (7,4), (12,8), (21,16) hamming codes and (3,2) convolution code. Using the derived equations of error probabilities in the environments of impulsive noise-multiple interferer, the error rate performance of QPSK signal and the performance improvement by channel coding techniques have been evaluated, and compared in graphs as a function of average carrier-to-multiple interferer power ratio (CIR,  $\rho_{MI}$ ) and the average carrier-to-impulsive noise power ratio (CNR,  $\rho_{IN}$ ).

The results of comparison show us that, the CNR performances have been improved about 3 ~7 [dB] by adopting channel coding techniques. And the error performance improvement increases in the environment of impulsive noise or multiple interference environment.

### I. 서 론

채널환경에 대한 연구는 기존의 연구에서 가우스잡음이나 일반론간섭에 의한 디지털신호의 성능 열화특성이 구명되었으나 무선 전송로를 포함하는 해석에서 현대의 산업화, 도시화, 전기기기의 밀집화 등에 의한 채널환경은 더욱 열악하게 되었다. 특히 임펄스잡음에 의한 군집에러(burst error)나 밀집된 간섭환경(다중파간섭:multiple interference)은 디지털신호의 여러 요인중 큰 몫을 차지하고 있다<sup>(1)</sup>.

유한한 전송대역하에서 전송하고자 하는 정보량이 많아지고 이동통신 등의 서어비스가 확대되면서 이들의 전송로환경을 극복하여 안전하고 또한 고품위로서 디지털정보를 보내려면 다이버시티(diversity) 기법이나 파형등화기(signal shaping 혹은 equalizer) 혹은 부호기법을 도입할 필요가 있으며, 특히 채널부호기법(channel coding technique)은 고속처리, 저가격의 반도체기술에 힘입어 장치의 구성이 용이하고 실시간처리가 가능하게 되어 디지털 통신에의 응용이 급속히 발전하였다. 채널부호기법은 에러정정기술에 중점을 두어 연구되고 있으며 이것은 위성통신, 디지털 이동통신, 문자방송 등에 필수적인 기술로서 통신뿐만 아니라 기록시스템 혹은 컴퓨터 내부시스템 등에도 널리 이용되고 있다<sup>(2)</sup>.

본 연구에서는 여러가지 디지털 변조신호중 다차화되어 널리 이용되는 PSK(phase shift keying)신호가 강한 임펄스성의 잡음과 많은 간섭환경의 채널을 통과할때 받는 성능열화의 정도를 오율의 관점에서 분석하고 QPSK(quadrature PSK)신호에 대해 랜덤에러수정능력을 갖는 해밍부호 기법과 상관부호(convolution code) 기법을 도입하여 개선도를 살펴보고자 한다.

### II. 임펄스잡음과 다중간섭환경

#### 1. 임펄스잡음 환경

임펄스잡음이란 평균전력에 비해 높은 전압치를 가지는 펄스가 진폭, 위상 및 발생시간이 불규칙하게 발생하는 것을 말하며 디지털통신에 그 영향이 크다. 이것은 내연기관이나 전력선, 전기철도, 전동기 이용기기, 방전관 등으로부터 발생하는 인공잡음과 태양의 흑점변동, 태양풍, 우주선(cosmic ray), 번개, 강우, 강설 등에 의한 자연잡음으로 구분된다. 해석하는 방법으로서서는 가우스잡음을 배제시키고 오직 임펄스만의 모델을 세워 해석하는 방법과 가우스잡음을 포함시켜 무한개의 가우스분포가 혼합된 형태로 해석하는 방법이 있다. 후자의 방법은 보다 실제에 접근하기 때문에 널리 이용되고 있다. 본 연구에서도 후자의 해석방법을 택한

한국통신학회 1990년도 추계종합학술발표회 논문집('90. 11)  
다.

대역통과필터를 통과한 협대역 임펄스잡음의 순시포락선에 대한 확률밀도함수(probability density function: p.d.f.)는 다음과 같이 주어진다.<sup>(3)</sup>

$$p_I(N) = \frac{e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_j^2} \exp(-N^2/2W\sigma_j^2), N \geq 0 \quad (1)$$

단,  $W (= \sigma_G^2 + \Omega_I)$ ; 전체 잡음전력[가우스잡음전력( $\sigma_G^2$ )과 임펄스잡음전력( $\Omega_I$ )의 합],

$A$ ; 임펄스지수 (단위시간당 임펄스가 차지하는 비율),

$N$ ; 임펄스잡음의 순시 포락선,

$$\sigma_j^2 = (j/A + \Gamma')/(1 + \Gamma'),$$

$\Gamma' (= \sigma_G^2/\Omega_I)$ ; 가우스잡음 대 임펄스잡음 전력비,

동기검파를 위해 직교좌표계로 변환하여  $p_I(x)$ 와  $p_I(y)$ 를 얻기 위해서는 좌표변환(Jacobian)<sup>(4)</sup>처리를 해야 하며 그 결과는 다음과 같다.<sup>(5)</sup>

$$p_I(x) = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}} \exp(-x^2/2W\sigma_j^2) \quad (2)$$

$$p_I(y) = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}} \exp(-y^2/2W\sigma_j^2) \quad (3)$$

## 2. 다중간섭 환경

특별한 강한 간섭파가 있는 경우외에는 실제의 경우의 도적인 방해전파인 제밍신호(jammer)를 제외하고는 그 특성을 명확하게 구별하기 어려울 정도로 간섭파의 종류와 수가 많다. 이러한 간섭을 다중간섭이라 하며 모든 간섭파에 대해 통계적인 해석을 하면 실제로는 잡음과 같은 특성을 나타낸다. 이러한 간섭파는 확률적으로 고려해야 하는데 진폭값은 가우스분포의 법칙을 따른다는 것이 잘 알려져 있다. 즉, 여러개의 간섭파가 진폭 1의 값을 가질때의 확률밀도함수는 다음과 같다<sup>(6)</sup>.

$$p_M(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_M} \exp\left(-\frac{I^2}{2\sigma_M^2}\right) \quad (4)$$

단,  $\sigma_M^2$ ; 다중간섭파의 평균전력.

간섭파만에 의한 시스템의 영향은 실제의 운용에 있어서 무의미하므로 어떠한 시스템에도 발생하는 잡음의 영향을 고려해야 한다. 즉, 잡음과 간섭의 결합확률밀도함수를 유도하여 적용시킬 필요가 있다. 임펄스잡음과 다중간섭에 대한 p.d.f.를 각각  $p_I(x)$  및  $p_M(x)$ 라 하면 결합확률밀도함수  $p(x)$ 는 중첩적분(convolution integral)이 되므로

$$p(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p_I(y) \cdot p_M(x-y) dy \quad (5)$$

여기서  $p_I(x)$ 는 임펄스잡음에 대한 확률밀도함수이다.

식(2)와 식(4)를 식(5)에 대입하여 정리하면,

$$p(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2W\sigma_j^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_M} \exp\left\{-\frac{(x-y)^2}{2\sigma_M^2}\right\} dy$$

$$= e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi(W\sigma_j^2 + \sigma_M^2)}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2(W\sigma_j^2 + \sigma_M^2)}\right\} \quad (6)$$

## III. QPSK신호의 오율특성

### 1. PSK 신호

디지털신호의 각 값에 대응하여 반송파의  $0 \sim 2\pi$ 까지의 위상에 각 정보가 지정되는 방식이 PSK 방식으로서 다상 PSK 신호의 표현식은 식(7)과 같다<sup>(7)</sup>.

$$s_{PSK}(t) = S \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (7)$$

단,  $S$ ; 신호의 진폭,

$\theta_c$ ;  $2\pi \lambda/M$ ,

$\lambda (= 0, 1, \dots, M-1)$ ; 다상정보,

$M$ ; 상의 수.

여기서 QPSK신호의 경우에는  $M=4$ 이다.

### 2. 임펄스잡음과 다중간섭하의 PSK신호의 오율특성

그림1과 같은 해석모델로부터 임펄스잡음 및 다중간섭파의 영향을 받은 수신신호의 동기검출시의 출력단에 대한 합성페이저도는 그림2와 같다. 여기서는 채널환경의 영향을 고찰하기 위한 것으로서 각 시스템은 이상적인 것으로 가정한다.

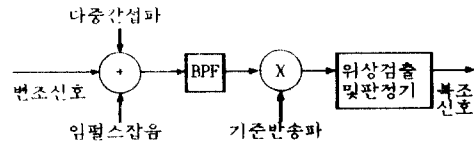
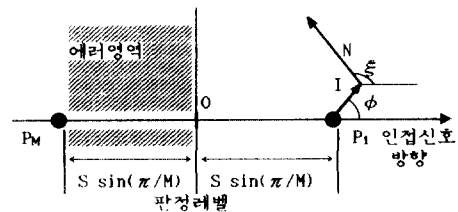


그림 1. 해석모델  
Analysis model.



$P_1, P_2, \dots, P_M$ : M상 신호점

그림 2. 임펄스잡음과 다중간섭영향하의 PSK신호의 수신 페이저도

Phasor diagram of received PSK signal with multiple interferer and impulsive noise.

다중간섭의 영향을 살펴보기 위해서는 식(6)의 다중간섭(M)과 임펄스잡음(I)에 대한 확률밀도함수를 이용하여 그림2로부터 다음과 같이 오율을 구할수 있다.

$$P_{EPM} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \int_{-\infty}^{-S \sin(\pi/M)} \frac{1}{\sqrt{2\pi(W\sigma_j^2 + \sigma_M^2)}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2(W\sigma_j^2 + \sigma_M^2)}\right\} dx$$

임펄스 잡음과 다중과 간섭환경하에서 채널부호 기법에 의한 QPSK 신호의 오율개선 특성(90941)

$$= \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^A \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{S^2 \sin^2(\pi/M)}{2(W\sigma_j^2 + \sigma_m^2)}} \right\}$$

$$= \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^A \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{\rho_{IN} \cdot \rho_{MI}}{\rho_{MI} \sigma_j^2 + \rho_{IN}}} \sin(\pi/M) \right\} \quad (8)$$

단,  $\rho_{IN}(= S^2/2W)$  ; 신호 대 임펄스잡음 전력비,  
 $\rho_{MI}(= S^2/2\sigma_m^2)$  ; 신호 대 다중간섭과 전력비.

#### IV. 채널부호기법

여러 방해요인으로부터 발생하는 디지털신호의 에러를 줄이기 위해 통신시스템의 관점에서 아날로그형태의 조정을 하다보면 매우 민감하거나 비경제적이기 때문에 최근에는 반도체 기술에 힘입어 에러의 여부를 판단하거나, 에러를 적극적으로 찾아서 수정하는 전진에러수정(FEC)의 방법이 널리 연구되는 추세이다. 에러검출만을 다룰 때에는 에러비트를 찾을 수 없기 때문에 재전송을 요구(repeat request: RQ)하게 되며 FEC의 경우에는 수정능력의 범위내의 에러에 대해서는 연속적인 전송이 가능하여 현대의 디지털통신 연구자의 연구중심이 되어왔다. 장치의 간편성과 고속처리 등의 장점을 가지는 랜덤에러 정정용 해밍부호(hamming code:HC)와 부호효율 및 스펙트럼효율 등에서 매우 우수한 군집에러정정용 상관부호(convolution code:CC)는 디지털 무선통신에서 이용될수 있는 방식으로서 각광을 받고 있다. 에러가 군집하여 나타나는 경우에는 이것을 랜덤 에러로 바꾸어 처리할수 있는 인터리브(interleave) 방식도 유용한 방법이다. 전반적인 전진에러수정의 개념은 그림 3과 같으며 본 연구에서는 1프레임 혹은 블록당 정보 4비트 전송용의 (7,4)해밍부호, 8비트 전송용의 (12,8) 해밍부호, 16비트 전송용의 (21,16) 해밍부호에 대해 부호기법을 소개하고 오율성능을 검토하며 이어서 상관부호기법의 도입과 성능개선도를 비교, 검토한다.

#### 1. 랜덤에러 정정부호와 오율 개선특성

##### (1) (7,4) 해밍부호

에러정정용 부호를 구성하려면 검출 및 정정을 위한 용량(redundancy 혹은 FCS)이 붙게 된다. 이때에 부호율(code rate) 혹은 부호효율이 결정되며 정보비트가 k개, 용량비트를 포함한 전체 전송비트가 n개라면 부호율은 식(9)와 같이 된다.

$$\eta = k/n \quad (9)$$

송신전력이 같은 조건이라면 부호화시의 신호대 잡음 전력비 S/Nc는 부호율에 의존하므로 부호화하지 않을때의 S/No와는 다음의 관계를 가진다.

$$S/Nc = S/No \cdot \eta \quad (10)$$

4[비트/프레임]의 전송용량을 가지는 1비트 에러정정의 (7,4)해밍부호의 구성은 그림4와 같다. 정보비트는  $b_3 \ b_2 \ b_1 \ b_0$ 이고, 에러정정비트는  $c_2 \ c_1 \ c_0$ 이다. 이 부호에서 정보비트열  $b_3 \ b_2 \ b_1 \ b_0$ 에 (000)을 부가한 비트열  $b_3 \ b_2 \ b_1 \ b_0 \ 0 \ 0 \ 0$ 을 판정비트열 G(1011)로 MOD-2 연산에 의해 나눈후의 나머

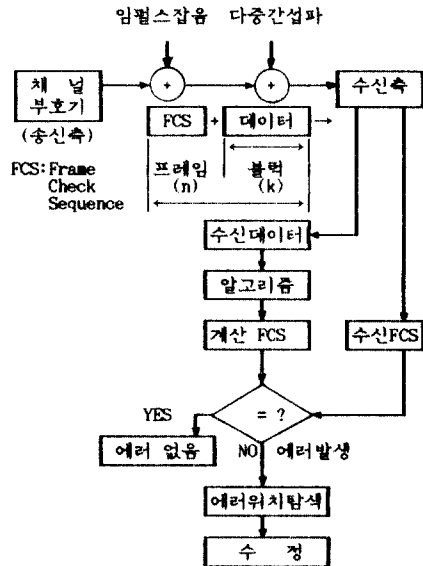
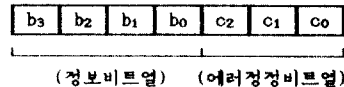


그림 3. 전진에러수정의 개념도  
Flow chart of FEC.

지를 에러정정비트로 한다. 복호시에는 신드롬(syndrom)에 의해 에러시 위치의 패턴이 정해진다. 이 부호는 1비트의 정정능력을 가진다.



(a) (7,4)해밍부호

$$\begin{bmatrix} c_2 & c_1 & c_0 \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} b_3 & b_2 & b_1 & b_0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{의 나머지에 대한 MOD-2 Add} \right) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(b) 에러정정비트열의 구성

그림 4. (7,4)해밍부호의 구성  
Construction of (7,4) hamming code.

##### (2) (12,8) 해밍부호

입력정보 비트열  $x_1 = b_8 \ b_7 \ b_6 \ b_5 \ b_4 \ b_3 \ b_2 \ b_1$ 의 해밍비트(HB)는 그림5와 같이  $2^n$  ( $n=0,1,2,\dots$ )번째에 삽입된다. 즉, 전송비트  $r_0 = b_8 \ b_7 \ b_6 \ b_5 \ HB_8 \ b_4 \ b_3 \ b_2 \ HB_4 \ b_1 \ HB_2 \ HB_1$ 로서

$$r_0 = B_{12} \ B_{11} \ B_{10} \ B_9 \ HB_8 \ B_7 \ B_6 \ B_5 \ HB_4 \ B_3 \ HB_2 \ HB_1 \quad (11)$$

가 된다. 이때 해밍비트는 식(12)와 같이 결정된다.

$$HB = HB_8 \ HB_4 \ HB_2 \ HB_1$$

$$= 1 \text{ 위치의 } 10\text{진수에 대한 EX-OR} \quad (12)$$

복호시에는 해밍비트와 "1"정보에 대한 10진수의 비트 값을 EX-OR하면 되고 에러가 없다면 그 결과는 "0"이 되어 0이 아닌 특정의 수치이면 바로 그 수치의 10진수값이 에러의 위치이므로 인터리브에 의해 수정된다.

##### (3) (21,16) 해밍부호

16비트의 정보비트를 하나의 블록으로 전송할수 있는 (21,16) 해밍부호는 (2)절의 구성과 같으나 해밍비트가  $HB_{16}$

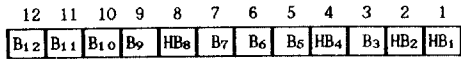


그림 5. (12,8)해밍부호의 구성  
Construction of (12,8) hamming code.

HB8 HB4 HB2 HB1로서 5개가 되며 부호율은 16/21로서 (12,8) 해밍부호의 3/4보다 높다.

(4) 오율 개선 특성

2원대칭 통신로(binary symmetric channel;BSC)에서 부호에러가 날 확률(부호 오율; symbol error rate)을 p라 할때 P(1!0)나 P(0!1)은 모두 p가 된다.

$$P(1!0) = P(0!1) = p, \quad (13)$$

$$P(1!1) = P(0!0) = 1-p. \quad (14)$$

여기서 전송부호계열을 C라 하고 수신계열을 r로 하면 C의 전송시 수신 r의 확률은(8)

$$P(r!C) = p^t(1-p)^{n-t}. \quad (15)$$

여기서 n은 부호장(code length)이며 t는 에러의 개수로서 해밍거리 d와 같다. n 비트 프레임에, k비트 정보인 (n,k) 해밍부호에 대한 오율은 2비트이상인 동시에 일어나는 경우를 생각하여 이러한 경우의 수는 조합(combination)에 의해 구한다. 즉,

$$P_{EH} = \sum_{i=2}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad (16)$$

$$\text{단, } \binom{n}{i} = n C i = \frac{n!}{(n-i)! i!}.$$

그러나 식(8)의 오율식에서 송신전력이 같은 조건이라면 식(10)을 도입하여 해밍부호화시의 임펄스잡음 및 다중간섭하의 심볼오율(P<sub>EIMH</sub>, p)은 다음과 같이 된다.

$$P_{EIMH} (= p) = \frac{e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!}}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{\rho_{IN} \cdot \rho_{MI} \cdot k/n}{\rho_{MI} \sigma_j^2 + \rho_{IN}}} \sin(\pi/M) \right\} \quad (17)$$

2. 상관부호

(1) 상관부호기

상관부호기(convolution encoder)는 단일비트의 에러정정능력도 뛰어나지만 특히 근접에러의 정정시 유용하다. 상관부호기는 원리적으로 현재의 입력비트뿐만 아니라 과거의 비트도 현재의 출력에 영향을 주기때문에 실질적인 유클리드 길이(Euclidian distance)의 증대효과를 가져오므로 정정능력이 월등해진다.

상관부호기는 식(18)의 출력을 가지는 그림6의 예와 같은 구성을 가진다.(9) 여기서 입력 정보열을 x로 하고 부호화된 전송정보열을 y라 할때 구속장(constraint length) K는 3이고 부호율이 1/2인 상관부호기가 된다.

$$\begin{aligned} y_1 &= S_1 \oplus S_3 \\ y_2 &= S_1 \oplus S_2 \oplus S_3 \end{aligned} \quad (18)$$

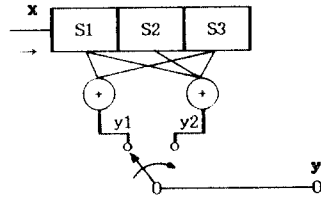


그림 6. (3,2) 상관부호기  
(3,2) convolution encoder.

(2) 복호기

상관부호기의 부호기 및 복호기를 위한 표현법에는 상태도(state diagram), 나무상태도(tree diagram) 및 Trellis 상태도 등이 있으며 본 연구에서는 복호나무와 Trellis상태도를 이용하여 복호한다.

(3) 오율 개선 특성

상관부호의 복호시 에러확률은 유클리드 길이를 도입하여 이 이득만큼 SN비가 증가한다는 것을 많은 연구에서 보이고 있다(9)-(10). 여기서 유클리드 길이를 dr<sup>2</sup>이라 하면 오율개선식은 식(8)을 이용하여 식(19)와 같이 된다.

$$P_{EIMC} = \frac{e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!}}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{dr^2 \cdot R_o \cdot \rho_{IN} \cdot \rho_{MI}}{\rho_{MI} \sigma_j^2 + \rho_{IN}}} \cdot \sin(\pi/M) \right\} \quad (19)$$

단, 여기서 dr<sup>2</sup>은 식(20)과 같이 정의되며(10) 이때 2R<sub>o</sub>는 상의 수(M)이므로 R<sub>o</sub>는 식(21)과 같다.

$$dr^2 = 2 - 2 \cos(2\pi/2^R) \quad (20)$$

$$R_o = 1/2 \log_2(M) \quad (21)$$

V. 검토 및 결론

유도된 오율식에 대해 평균신호 대 잡음전력비, 평균신호 대 다중간섭파 전력비, 임펄스지수, 가우스잡음 전력대 임펄스잡음전력비 등의 파라미터를 이용하여 심볼오율을 계산하고 그림7~그림14에 그래프로 보았다. 그림7은 가우스잡음(GN)환경과 임펄스잡음(IN)환경하에서 CIR=20[dB]시의 BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK신호의 CNR특성을 보인 것으로서 IN의 영향이 큼을 나타내고 있다. 그림8은 GN 및 IN환경에서 CIR의 변화에 의한 오율특성을 비교한 그래프로서 CIR이 약 20 [dB]이상에서는 거의 영향이 없어짐을 알수 있다. 또한 그림 9는 GN 및 IN하에서 QPSK 신호의 비부호화와 부호화시의 성능개선도를 보인 것이다. 여기서 (k/n)은 전력제한에 의한 k/n배의 비트전력감소를 나타낸 것이며 일반 부호화는 동일 전송속도, 혹은 동일비트전력하의 성능을 보인 것이다. 그림에서 알수 있는 바와 같이 IN에 의한 많은 에러의 발생시 수 정능력이 뛰어나며 판정오율을 10<sup>-5</sup>으로 했을때 (7,4)HC(k/n)는 약 4[dB], (7,4)HC는 약 6.5[dB]가 개선되는 것을 보이고 있다. 그림10~그림12는 (12,8)HC와 (21,16)HC, 그리고 (3,2)CC에 대해 그림9와 같은 특성으로 오율특성을 보인 것이다. 또한 그림13은 전력제한시 각 부호기법에 대해

임펄스 잡음과 다중파 간섭환경하에서 채널부호 기법에 의한 QPSK 신호의 오율개선 특성(90941)

오율성능개선을 비교한 것이며 판정오율의 값에 따라 선택기법의 차이를 보이고 있으나 우수한 오율성능이 요구된다면 상관부호(CC)의 개선도가 가장 높다. 그림14는 간섭파 전력의 변화를 변수로 한 오율그래프로서 임펄스잡음 환경하에서는 오율특성의 문턱값을 보이고 있다.

위의 검토로부터 다음과 같은 몇가지 중요한 결론을 내릴수 있다.

- ① 잡음중에서 탠덤에러와 군집에러의 주요인은 임펄스잡음이다.
- ② 다중간섭파가 오율성능에 영향을 주는 것은 QPSK에서 CIR이 약 20 [dB]까지이며 그 이상에서는 무시할수 있다.
- ③ 해밍부호의 도입시 가우스잡음 환경보다 임펄스잡음 환경하에서 우수한 성능을 보이며 그 성능개선도는 최대 약 6.5 [dB]이다.

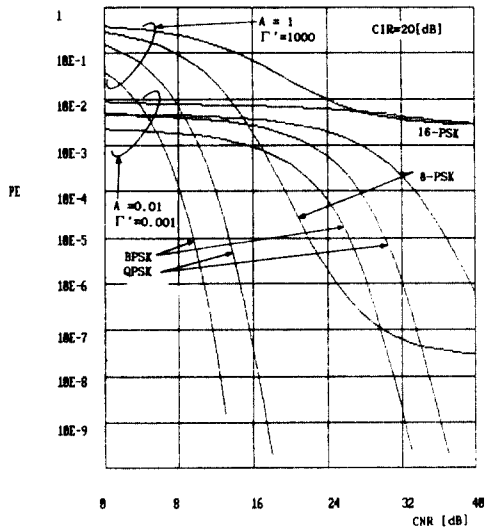


그림 7. 가우스잡음(GN)과 임펄스잡음(IN)하에서 PSK신호의 오율특성  
Error rate performance of PSK signal with Gaussian noise(GN) and impulsive noise(IN).

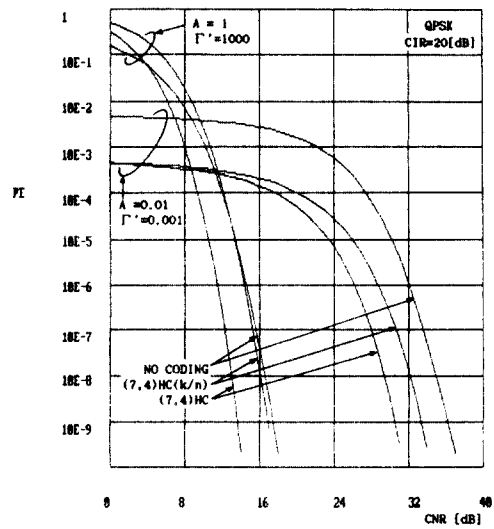


그림 9. (7,4)해밍부호에 의한 QPSK신호의 오율개선특성  
Error rate performance of QPSK signal by (7,4) hamming code.

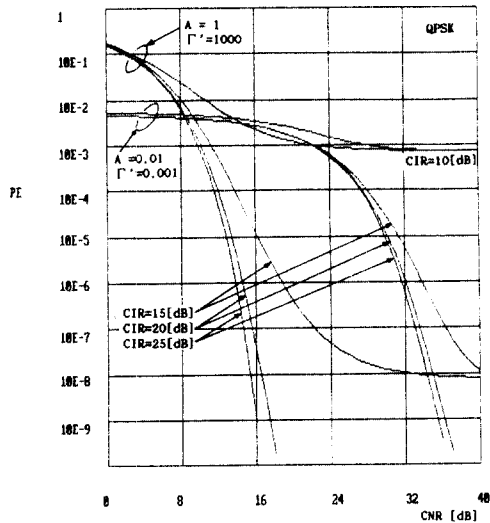


그림 8. 간섭비에 따른 QPSK신호의 오율특성  
Error rate performance of QPSK signal according to CIR.

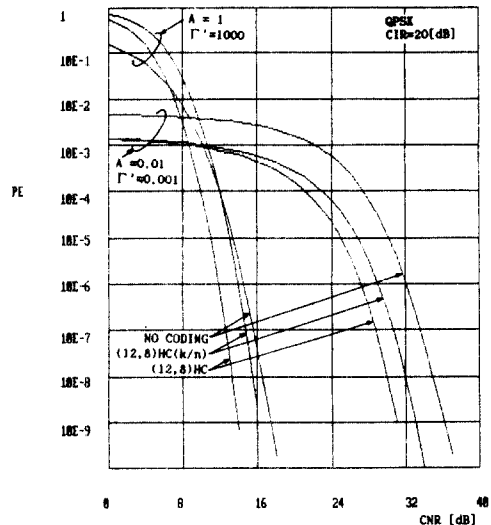


그림 10. (12,8)해밍부호에 의한 QPSK신호의 오율개선특성  
Error rate performance of QPSK signal by (12,8) hamming code.

한국통신학회 1990년도 추계종합학술발표회 논문집('90. 11)

③ 부호율(k/n)의 증가시에 낮은 오율특성에서는 오히려 성능개선도가 줄어들거나 고품질의 전송이 요구될때(예로서 오율=10<sup>-9</sup>정도)에는 성능개선도가 증가한다.

④ IN 과 GN 환경 모두에서 상관부호는 가장 우수한 오율 성능개선을 나타낸다.

⑤ IN환경하에서는 다중간섭파보다 주로 임펄스잡음에 영향을 받는다.

## 참 고 문 헌

- (1) Feher, K., *Digital modulation techniques and interference environment*, Gaineville, VA: Don White Consultant, 1977.
- (2) 横山克哉, "符號理論の手ほどき", "日本テレビ" シンヨン學會誌, vol.44, pp.919-926, July 1990.

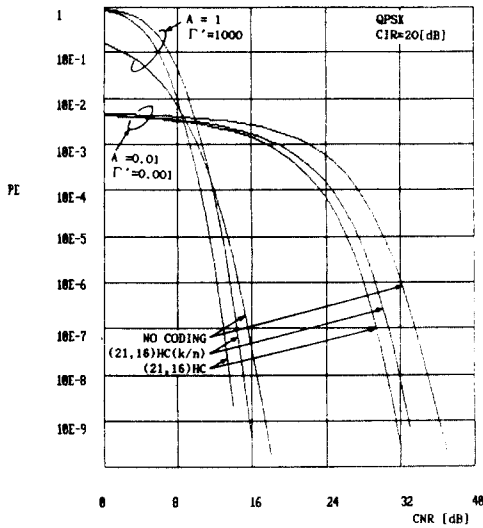


그림 11. (21,16)해밍부호에 의한 QPSK신호의 오율개선특성  
Error rate performance of QPSK signal by (21,16) hamming code.

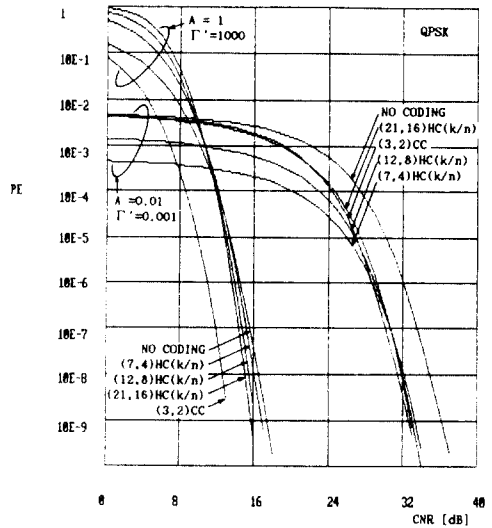


그림 13. 채널부호기법에 의한 QPSK신호의 오율개선특성 비교  
Comparison of error rate performance of QPSK signal by channel coding technique.

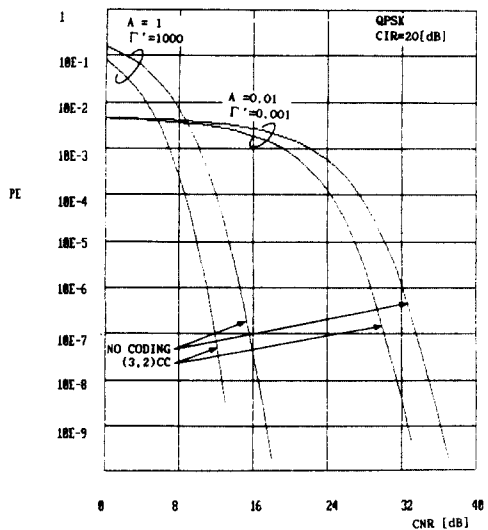


그림 12. (3,2)상관부호에 의한 QPSK신호의 오율개선특성  
Error rate performance of QPSK signal by (3,2) convolution code.

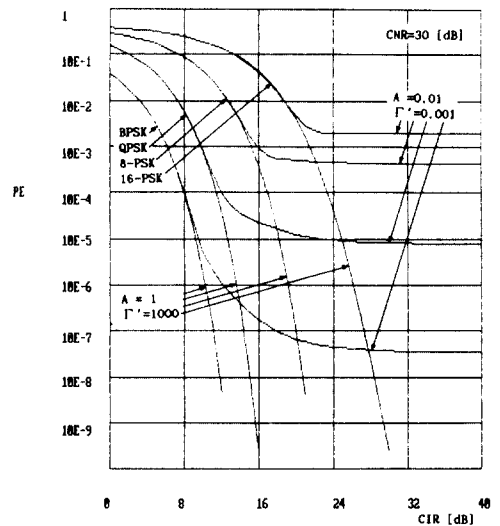


그림 14. CIR 파라미터에 따른 PSK신호의 오율개선특성  
Error rate performance of PSK signal with parameter CIR.

- (3) D.Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," *IEEE Trans. on Electromag. Compat.*, vol.EMC-19, pp.106 -127, Aug. 1977.
- (4) A.Papoulis, *Probability, random variables, and stochastic process*, New York:Mcgraw-Hill, 1965.
- (5) 공병욱, "제반 디지털통신 시스템 구성의 최적화와 이의 시뮬레이션 평가에 관한 연구," 한국과학기술재단 보고서, 1990년 2월
- (6) 日本電電公社, デジタルマイクロ波通信, 企画センター, 1984.
- (7) Kong, B.O. and S.J.Cho, "PSK error performance with impulsive noise and cochannel interference," *KIEE Journal*, vol.20, pp.55-62, Jan. 1983.
- (8) T.Uyematsu, et al, "Effect of asymmetric error correcting codes in photon communication systems," *IEICE Trans.*, vol.E71, pp. 850-858, Sep. 1988.
- (9) T.Honda, I.Sasase, and S.Mori, "Convolutional coded continuous phase modulation with plural modulation indices," *Trans. of IEICE*, vol.E70, pp.1214-1219, Dec. 1987.
- (10) R.H.Deng and D.J.Costello, "High rate concatenated coding systems using bandwidth efficient trellis inner codes," *IEEE Trans. on Comm.*, vol.37, May 1989.