

전자관섭 환경하에서 임펄스성 랜덤 잡음이 디지털

변조방식에 미치는 영향

84325

양 영 우 손 승 완 조 성 준
한국 항공 대학 통신공학과

Influence of Impulsive Random Noise on Digital Modulation Systems in Electromagnetic Interference Environments

Byung Ock KONG Seung Wan SON Sung Joon CHO
Hankuk Aviation College, Dept. of Telecomm. Eng.

ABSTRACT

The error rate performances of digital modulation systems which are influenced by impulsive noise have been studied in the environment of electromagnetic interference(EMI). We have derived the error probability equations of L-level ASK, M-ary PSK, MSK, QAM, and APK signals.

Using these derived equations, we have evaluated the performance of each system and compared each other.

1. 서 론

현대는 정보화 사회라 일컬어지고 있다. 이는 인간이 사회생활을 하면서 지내는 의사전달의 욕구와 정보교환의 필요성으로부터 여러가지 통신 방법을 개발해 왔고 최근에는 대량의 고품질 정보 교환 및 처리 기능을 갖는 데이터 통신이라는 매우 편리한 방법을 고안해낸 것으로 집약된다.

산업사회에서는 물질의 양과 교통 능력 등이 국력을 좌우했지만 현대사회는 이제 서서히 정보의 저장, 처리, 및 전송 능력에 따라 한 국가의 힘을 표현하게 되었다고 해도 과언이 아니다. 그러한 의미에서 통신 능력의 확장은 우리의 절대 과업이 될 뿐만 아니라 인류 복지의 초석도 된다. 그러나 이는 말과 같이 쉬운 일은 아닐 것이다. 그 문제점은 여러 가지가 있을 수 있으나 공학적인 면에서 볼 때에 최근의 전기 통신은 거의 점차 디지털화되어 가고 있으며 데이터 통신도 디지털 데이터의 전송으로 집약된다. 또한 유한 자원인 주파수대의 공동 사용이라는 면과 이용자의 급증으로 인하여 시스템의 설계 및 설치 뿐만 아니라 운용면에서도 어려움을 겪게 되었다. 그것은 전송 경로가 아무런 장애 없이 이용자에게 전달된다면 문제가 없겠으나 늘어나는 전자파의 과대 밀집 현상과 잡음 발생원의 증대때문인 것으로 볼 수 있다. 이들 방해파에서 전자는 유한 자원인 무선 주파수대의 근접된 사용으로 인한 간섭이라고 볼 수 있고 후자는 랜덤 잡음

으로 생각할 수 있다. 또한 사용 대역의 효율적인 이용이라는 면에서 기존 사용중인 대역을 재사용함으로써 발생하는 동일 채널 간섭은 각종 시스템에 다른 어떠한 간섭보다도 영향이 크다. ⁽¹⁾⁻⁽²⁾ 채널로그 통신의 결점을 극복한 디지털 통신 방식은 일반 가우시안 잡음에는 그리 큰 영향을 받지 않는다는 것은 이미 알려진 사실이나 임펄스성 잡음에 의한 비트 에러와 같은 시스템의 열화는 세계적으로 그리 깊이 연구되지 못했다.

전자 간섭 현상은 이와 같이 지속 진동형의 발전기에 의한 전자파와 불규칙한 잡음으로서의 전자파에 의한 것이다. 이는 각종 무선 시스템의 오동작을 유발하며 임펄스성을 띠는 각종 전자파 및 정전기는 집적화된 반도체 소자까지 파괴시킨다. 날로 증대되는 인공 전자파 간섭 현상은 최근의 산업화, 도시화, 전기 사용자의 밀집화 등에 의해 필연적으로 발생되는 것으로서 대부분 임펄스성을 띠며 디지털 통신 시스템에 큰 문제로 대두되었다. 판매해지는 산업화는 임펄스성을 띠는 잡음을 발생시키는 요인을 가중시켰고 지구의 밖으로 향한 통신에서는 대기나 우주상의 잡음을 고려해야 할 상황에 이르르게 되었다.⁽³⁾ 난무하는 각종 전자파에 의한 간섭현상 및 생체에 미치는 영향 등을 연구하는 환경전자공학(EMC)이 최근에 대두된 것은 당연한 결과라 하겠다.

본 연구에서는 밀집된 전자파 간섭 환경하에서 각종 디지털 변조 방식이 임펄스성 잡음에 어떠한 영향을 받

는 값을 따른다. 변조방식으로는 디지털 변조 방식의 대표적인 ASK(Amplitude Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying), MSK(Minimum Shift Keying), QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 및 APK(Amplitude Phase Shift Keying)를 택하여 연속파(continuous wave) 간섭(CWI)시에 임펄스성 잡음이 이들 변조 방식에 미치는 영향을 오울의 관점에서 구명한다. 평가 기준으로는 오울을 택해 반송파 전력 대 간섭파 전력비, 반송파 전력 대 잡음 전력비, 임펄스 지수, 반송파와 간섭파의 상대 위상차 등을 파라미터로 하여 여러가지 간섭 및 잡음 환경하에서 각 변조 방식의 우열을 가늠한다. 본 연구는 디지털 신호 전송 시스템의 설계 및 운용에 있어서 전자간섭하에서의 최적조건을 제시하는데 있으며 변조 방법에 대한 선택의 자료를 제공한다.

2. 해석 모델

각각 디지털 변조된 신호를 복조하는데 있어서 전송 도중 채널상에서 혼입된 간섭파와 잡음의 영향에 의해 최종 복원된 신호에는 왜곡이 발생한다. 이에 대한 각 신호의 오울을 구하기 위해 그림 1과 같이 일반적인 해석 모델을 정하였다. 여러 변조된 신호에 대한 구체적인 해석 모델은 이하에 구체적으로 나타낸다.

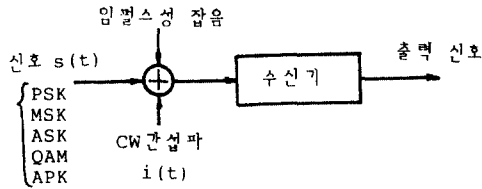


그림 1. 일반적인 해석 모델

2.1 신호

(1) PSK 신호

다상(M-ary) PSK신호 $s_p(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$s_p(t) = S \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (1)$$

단, S ; 신호의 진폭,

ω_c ; 수신기의 이상적 대역 통과 여파기(BPF)의

중심 각주파수 ($\omega_c = 2\pi f_c$),

λ ($=0, 1, \dots, M-1$); 다상 정보,

M ; 레벨 수(상의 수).

(2) MSK 신호

MSK 신호 $s_M(t)$ 는 다음과 같다.

$$s_M(t) = S_k: \text{even} a_k p(t-kT) \cos \omega_c t + S_k: \text{odd} a_k p(t-kT) \sin \omega_c t \quad (2)$$

단, $a_k = \pm 1$,
 S ; 신호의 진폭,

$\omega_R = 2\pi/4T$,

$\omega_c (=2\pi f_c)$; 반송파의 중심 각주파수,

$p(t) = \begin{cases} 1 & -T \leq t \leq T \\ 0 & \text{그 외} \end{cases}$

(3) ASK 신호

L- 레벨 ASK 신호는 다음과 같이 표시된다.

$$s_A(t) = S_j \cos \omega_c t \quad (3)$$

단, $S_j \in \{+d, +3d, \dots, +(2L-1)d\}$,
 L ; ASK 신호의 레벨 수,

$\omega_c (=2\pi f_c)$; 반송파의 각주파수.

(4) QAM 신호

중심 주파수 f_c 를 가지며 신호의 간격이 T 인 신호가 M 번째 들어오면 $2L$ 비트의 QAM 신호는 다음과 같다.

$$s_Q(t) = A_j \cos \omega_c t + B_k \sin \omega_c t \quad (4)$$

$$MT \leq t \leq (M+1)T$$

단, $A_j, B_k \in \{+d, +3d, \dots, +(2L-1)d\}$,

$\omega_c (=2\pi f_c)$; 반송파 각주파수.

(5) APK 신호

APK 신호의 배열 방법은 여러가지가 있다. 그 중에서 가장 일반적인 중심원의 신호는 상호 독립적인 PSK 신호와 ASK 신호의 합으로 나타낼 수 있다.

$$s_{AP}(t) = S_j \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (5)$$

단, $S_j \in \{+d, +3d, \dots, (2L-1)d\}$,

$\omega_c (=2\pi f_c)$; 반송파 각주파수,

λ ($=0, 1, \dots, M-1$); 다상 정보,

M ; 레벨 수(상의 수).

2.2 간섭파

동일 채널 간섭(Cochannel Interference) 중 연속성 간섭(Continuous Wave Interference, CWI)을 다루기로 한다. 대역 통과 회로를 가진 간섭파는

$$i(t) = I \cos(\omega_c t + \phi) \quad (6)$$

가 되며, 여기서 ϕ 는 신호의 반송파와 간섭파와의 상대 위상차이고 $\omega_c (=2\pi f_c)$ 는 반송파의 각주파수이다.

2.3 임펄스성 잡음

임펄스성 잡음(impulsive noise)은 자연 잡음과 인공 잡음으로 나뉜다. 최근에는 인공 잡음원의 급격한 증대로 무선 통신계에서 임펄스성 인공 잡음에 의한 영향의 비중은 매우 크다. 여기서는 가우시성 잡음까지도 함께 해석할 수 있는 임펄스성 잡음의 포락선에 대한

확률밀도함수를 도입한다. 이는 Middleton 씨에 의해 이론과 실험으로서 정리된 확률 밀도 함수이다. [4]

정규화 잡음 포락선에 대한 확률밀도함수 $p(\tilde{E})$ 는

$$p(\tilde{E}) = e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{2\tilde{E}}{\Omega_c^2} e^{-\frac{\tilde{E}^2}{\Omega_c^2}} \quad (7)$$

이다. 단, $\tilde{E} (=E/\sqrt{2(\Omega_c^2 + \Omega_A)})$; 정규화 잡음 포락선,
 $\Omega_c^2 = (1/A + P')/(1 + P')$,
 $P' (= \Omega_A^2/\Omega_c^2)$; 임펄스 잡음의 전력에 대한
 가우스 잡음 전력의 비,
 A ; 임펄스 지수 (단위 시간당 임펄스가 차지하는 시간 비율)

이여 순시 잡음 전압에 대한 포락선 확률 밀도 함수 $p(E)$ 는 다음과 같다.

$$p(E) = \frac{e^{-A}}{N} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \frac{E}{\Omega_c^2} e^{-\frac{E^2}{2N\Omega_c^2}} \quad (8)$$

단, E; 잡음의 순시 포락선,
 $N (= \Omega_A^2 + \Omega_c^2)$; 전체 잡음 전력.

3. 수신 합성파의 통계적 해석

3.1 PSK 신호의 통계적 해석

디지털 변조된 PSK 신호는 식(1)로 나타내진다.

$$s_p(t) = S \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (9)$$

채널상에서 혼입된 간섭파와 잡음의 영향을 다루기 위해 PSK 신호의 경우 그림2. 와 같은 해석 모델을 설정하였다.

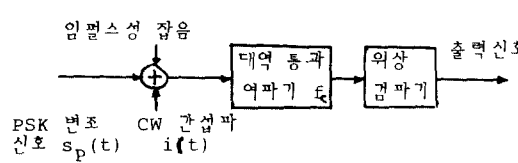


그림 2. PSK 수신기의 해석 모델

여기에서 대역통과 여파기 및 수신기의 검파기는 이상적인 것으로 가정하였고 송신기와 수신기에는 완전히 동기되었다고 가정하였다.

CW 간섭파와 임펄스성 잡음에 영향을 받은 신호의 수신 합성파에 대한 페이저도는 그림 3. 과 같다.

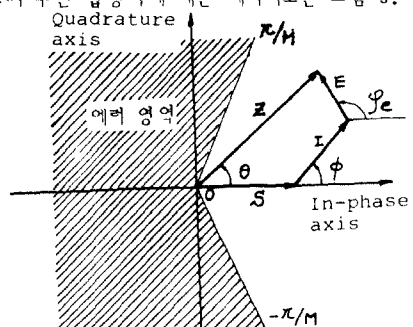


그림 3. 수신 PSK 신호의 합성 페이저도

그림 3. 에서 합성 페이저로부터 θ 에 대한 확률밀도 함수를 구하면 다음과 같다. [5]

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi} + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{m}{2\pi} \cdot \cos\{m(\theta - \tau)\} \cdot \frac{e^{-A} A^i}{i!} \cdot \frac{1}{(\Omega_c^2)^{m/2}} \frac{\Gamma(m/2)}{\Gamma(m+1)} \cdot X^{m/2} \cdot F_1[m/2; m+1; -(\Omega_c^2)^{-1} \cdot X] \quad (10)$$

단, $X = d(1 + 2 \cos \phi / \sqrt{\beta} + 1/\beta)$,
 $d (= S^2/2N)$; 반송파 대 잡음 전력비,
 $\beta (= S^2/I^2)$; 반송파 대 간섭파 전력비,
 $r = \tan^{-1} \frac{\sin \phi}{S/I + \cos \phi}$,
 $F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$; 합류형 초월 기하함수,
 $\Gamma(\cdot)$; 감마 함수.

식 (10)으로부터 합성 신호의 위상차 θ 가 $(\pi/M, \pi/M)$ 내에 들게 되면 에러가 발생한다. 즉 M-ary PSK 에서 판정 영역은 π/M 와 $-\pi/M$ 가 되므로 이 영역에 걸쳐 적분을 하여 최종 오율을 구하면 다음과 같다.

$$P_E(M) = (1 - \frac{1}{M}) - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{\pi} \sin(\frac{n\pi}{M}) \cdot \cos(n\tau) \cdot \frac{e^{-A} A^i}{i!} \cdot \frac{1}{(\Omega_c^2)^{m/2}} \frac{\Gamma(m/2)}{\Gamma(m+1)} \cdot X^{m/2} \cdot F_1[m/2; m+1; -(\Omega_c^2)^{-1} \cdot X] \quad (11)$$

3.2 MSK 신호의 통계적 해석

MSK (Minimum Shift Keying) 신호는 FSK 의 특수한 예로서 일정 진폭을 가지며 대역폭 특성이 우수한 변조방식이다. MSK 신호에 대한 해석 모델은 그림4. 와 같다. [6]

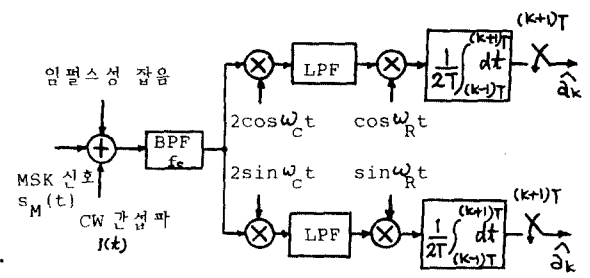


그림 4. MSK 수신기의 해석 모델

신호 $s_M(t)$ 는 식(2)로 나타내진다.

$$s_M(t) = S \sum_{k: \text{even}} a_k p(t-kT) \cos \omega_R t \cdot \cos \omega_c t + S \sum_{k: \text{odd}} a_k p(t-kT) \sin \omega_R t \cdot \sin \omega_c t \quad (12)$$

그림 4. 에서와 같이 두 개의 채널에 인가되는 디지털 정보중 "1" 이나 "0" 의 발생확률이 등확률이라고 가정하면

하나의 채널에 대해 해석해도 충분하다. 해석 모델에서 최종 검출된 수신 합성파는 그림 5.와 같은 페이지도 나타낼 수 있다.

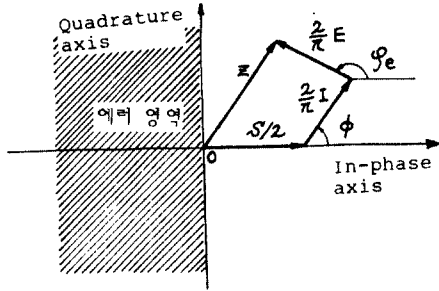


그림 5. 수신 MSK 신호의 합성 페이지도

간섭파와 임펄스성 잡음의 영향을 받은 최종 오울식은 다음과 같다.

$$P_E = \frac{E^2}{2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A_i^2}{2I} \cdot \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{N}}{\alpha} \left(\frac{\pi}{4} + \cos \phi / \sqrt{\beta} \right) \right] \quad (13)$$

단, $\alpha (=S^2/2N)$; 반송파 대 잡음 전력비,
 $\beta (=S^2/I^2)$; 반송파 대 간섭파 전력비,
 ϕ ; 반송파와 간섭파의 상대 위상차.

3.3 ASK 신호의 통계적 해석

L-퀘벨 ASK 신호는 식(3)과 같이 표시된다.

$$s_A(t) = S_j \cos \omega_c t \quad (14)$$

수신 L-퀘벨 ASK 신호의 해석을 위해 다음과 같은 해석 모델을 설정하였다.

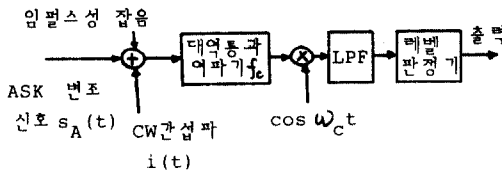


그림 6. ASK 수신기의 해석 모델

수신 L-퀘벨 ASK 신호의 합성 페이지도는 그림 7.과 같다. 수신 ASK 신호의 합성 페이지가 에러영역에 들게 될 확률이 곧 오울이 되므로 최종 오울식은

$$P_E = \frac{2L-1}{2L} \frac{E^2}{\pi} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A_i^2}{2I} \left[\exp \left\{ -\frac{\alpha}{\alpha^2} (1+2\cos \phi) \sqrt{\beta} + \cos^2 \phi / \sqrt{\beta} \right\} + \exp \left\{ -\frac{\alpha}{\alpha^2} (1-2\cos \phi / \sqrt{\beta} + \cos^2 \phi / \sqrt{\beta}) \right\} \right] \quad (15)$$

이다. 단, $\alpha (=d^2/2N)$; 반송파 대 잡음 전력비,
 $\beta (=d^2/I^2)$; 반송파 대 간섭파 전력비,
 ϕ ; 반송파와 간섭파의 상대 위상차.

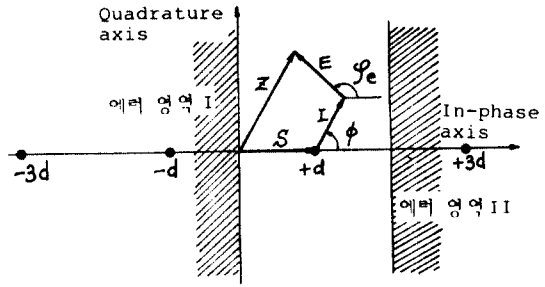


그림 7. L-퀘벨 ASK 신호의 수신 합성 페이지도

3.4 QAM 신호의 통계적 해석

일반 2L 비트의 QAM 신호는 다음과 같이 표시된다.

$$s_Q(t) = A_j \cos \omega_c t + B_k \sin \omega_c t \quad (16)$$

QAM 신호에 대한 해석을 위해 그림 8.과 같은 수신기의 해석 모델을 설정하였다.

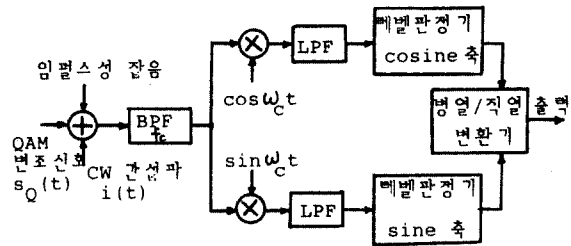
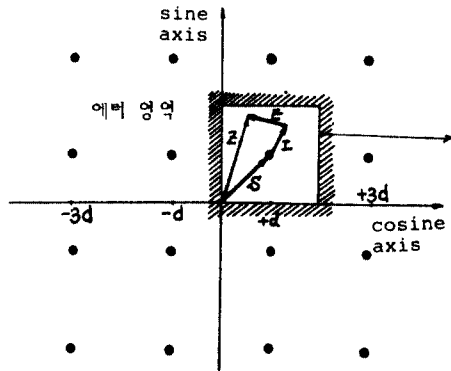


그림 8. QAM 수신기의 해석 모델

특별한 예로서 16-QAM 은 L=2 인 경우이며 이에대한 신호 배열과 수신 신호의 합성 페이지도를 보이면 그림 9.와 같다.



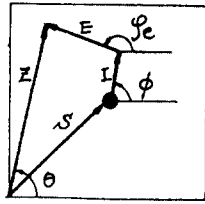


그림 9. 16-QAM 신호의 수신 합성 페이저도

cosine 축과 sine 축에 대해 각각 ASK 변조하여 합성시킨 QAM 신호는 cosine 항과 sine 항이 서로 직교하면서 독립적이므로 하나의 채널에 대해 해석하면 cosine 축이나 sine 축에 대한 오율은 (15)식이 된다. 즉, $P_E |_{\cos} = P_E |_{\sin}$ 이며 16-QAM 의 전체의 오율은 다음과 같다.

$$P_E(16\text{-QAM}) = P_E \left|_{L=2}^{\cos} + P_E \left|_{L=2}^{\sin} - P_E \left|_{L=2}^{\cos} \cdot P_E \left|_{L=2}^{\sin} \quad (17)$$

3.5 APK 신호의 동계적 해석

여기에서는 APK 신호의 여러가지 배열 중 가장 일반적인 동심원 APK 신호를 다룬다. 즉, 동심원 APK 시스템은 ASK 신호와 PSK 신호의 합성으로서 해석할 수 있으므로 ASK 와 PSK 간에 상호 독립적이라고 가정하여 전체 오율을 구할 수 있다. 동심원 APK 신호는 식(5)와 같다.

$$s_{AP}(t) = S_j \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (18)$$

동심원 (4,4) APK 와 동심원 (8,8) APK 의 신호 배열은 그림 10. 과 같다.

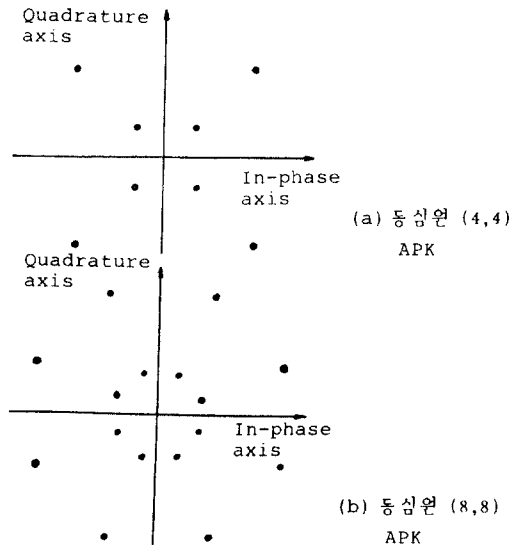


그림 10. 동심원(4,4) APK 신호와 동심원(8,8) APK 신호의 배열

동심원 (4,4) APK 신호와 동심원 (8,8) APK 신호의 오율은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다. [7]

$$P_E\{(4,4) \text{APK}\} = P_E(2\text{-level ASK}) + P_E(\text{QPSK}) \quad (19)$$

$$P_E\{(8,8) \text{APK}\} = P_E(2\text{-level ASK}) + P_E(8\text{-PSK}) \quad (20)$$

즉, (M_1, M_2, \dots, M_L) 의 동심원 APK 신호에 대한 오율의 일반식은 M 상 PSK 와 L- 레벨 ASK 의 오율의 합으로 나타내진다.

4. 결론

다상 PSK 신호, MSK 신호, L- 레벨 ASK 신호, 16-QAM 신호 및 동심원 APK 신호에 대한 일반 오율식을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션으로써 각 변수의 변화에 따라 오율을 계산하였으며 그 결과를 그림 11- 그림 23 에 오율 그래프로 나타냈다. 오율 그래프로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

가우시성 잡음의 존재하에서 PSK 시스템이 가장 양호한 성능을 나타내며 같은 전송 정보량에 대해 2-레벨 ASK 시스템보다 QPSK 시스템이 약 7[dB] 낮은 CNR 에서 동일한 오율특성을 보이고 있다.

임펄스가 많은 잡음환경하에서 10^{-3} 이하의 오율이 요구될 때 모든 디지털 변조 시스템은 대부분 임펄스에 예민하게 발생되며 디지털 진폭 변조 시스템은 가우시 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력의 비에 크게 의존하지 않는다. 임펄스성 잡음 환경(A=0.1, P'=0.001) 하에서 간섭파의 레벨이 작을 경우 MSK 시스템이 QPSK 시스템보다 양호한 성능을 보이고 있으며 간섭파가 강할 경우에는 QPSK 시스템이 우수한 성능을 나타내고 있다. 또한 임펄스 잡음 환경하에서 디지털 진폭 변조 시스템은 간섭파의 레벨 변동에 크게 좌우되지 않으며 QAM 시스템이나 APK 시스템은 전체적인 심볼 오율(symbol error rate, SER)이 가장 열화된 것으로 나타났다. 그러나 이것은 전송 정보량과의 관계에서 상호 호환성이 있다.

그림 23은 반송파와 CWI 간의 상대위상차(ϕ)에 따른 오율을 가장 열화된 경우($\phi=0^\circ$)로 정규화시킨 것이다. BPSK 시스템의 경우 $\phi=90^\circ$ 일때 가장 성능이 우수하며 QPSK 시스템은 45° 일때, MSK 나 ASK 는 90° 일때 가장 양호한 성능을 보이고 있다. 그러나 PSK 의 경우 상의 수가 증가함에 따라 상대위상차에 크게 의존하지 않으며 ASK 의 신호는 상대위상차에 따른 영향이 가장 작다.

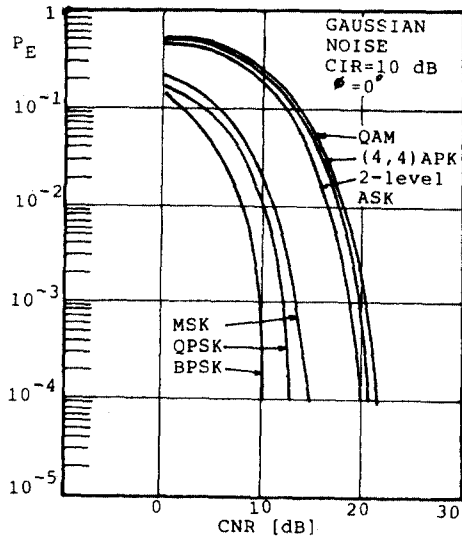


그림 11. 가우시안 잡음 존재하에서 각 디지털 변조신호의 심볼 오류

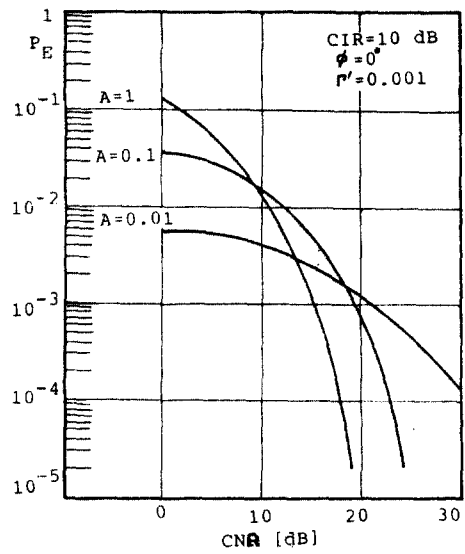


그림 13. A의 변화에 따른 MSK 신호의 심볼 오류

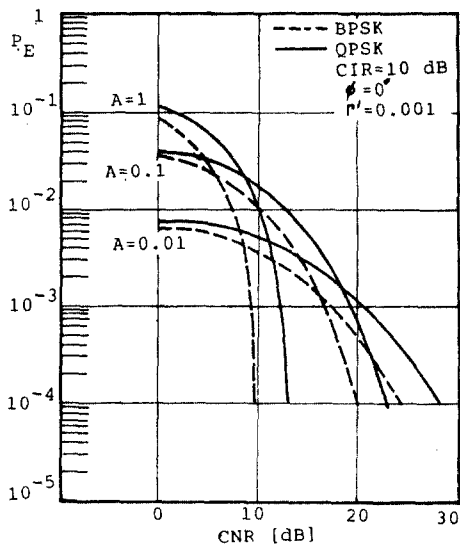


그림 12. A의 변화에 따른 BPSK 신호와 QPSK 신호의 심볼 오류

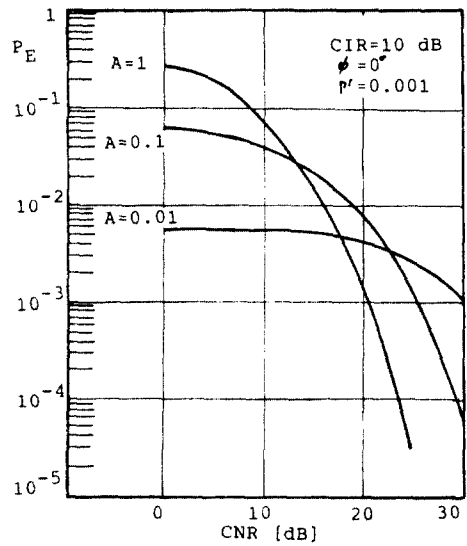


그림 14. A의 변화에 따른 2-레벨 ASK 신호의 심볼 오류

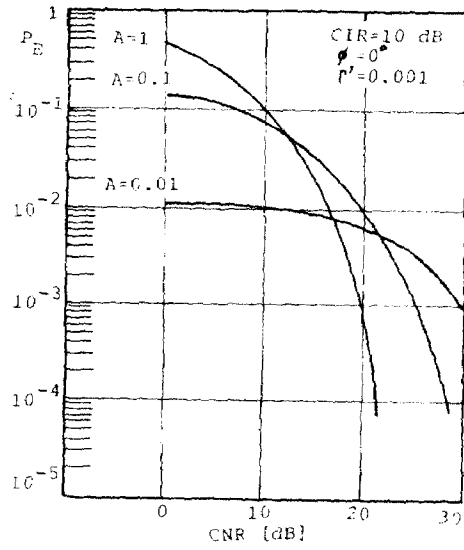


그림 15. A 의 변화에 따른 16-QAM 신호의 심볼 오류

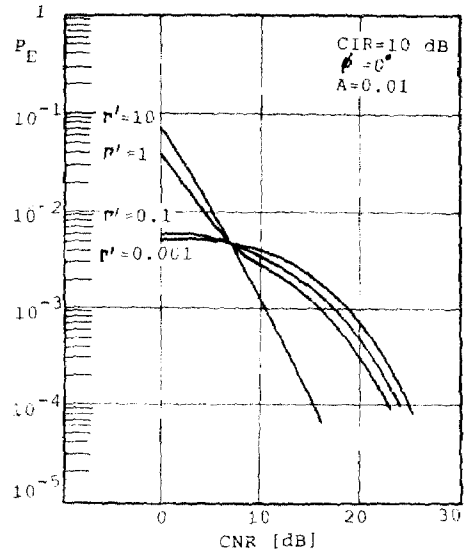


그림 17. r' 의 변화에 따른 BPSK 신호의 심볼 오류

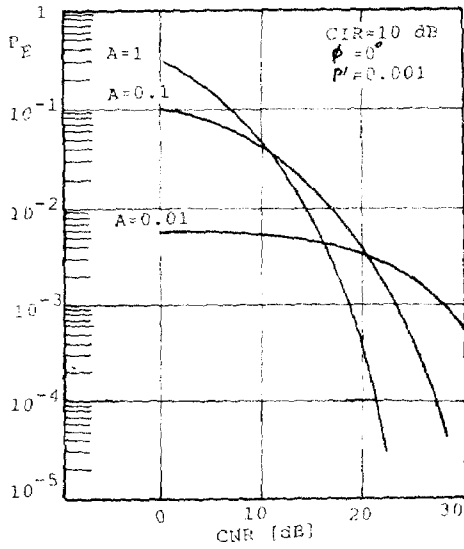


그림 16. A 의 변화에 따른 등심원 (4,4)APK 신호의 심볼 오류

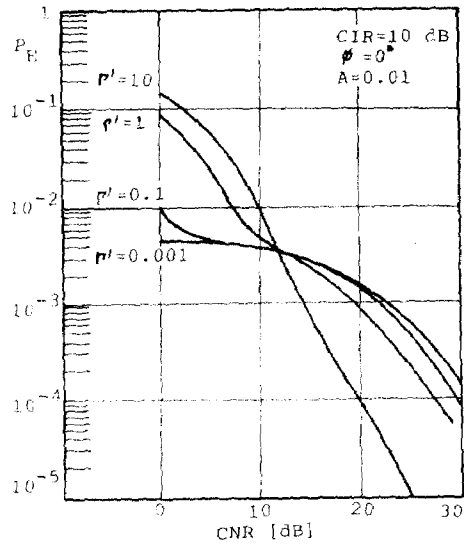


그림 18. r' 의 변화에 따른 MSK 신호의 심볼 오류

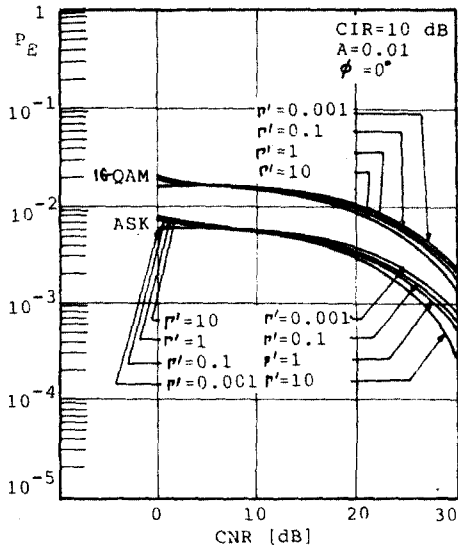


그림 19. r' 의 변화에 따른 2-레벨 ASK 신호와 16-QAM 신호의 심볼 오류

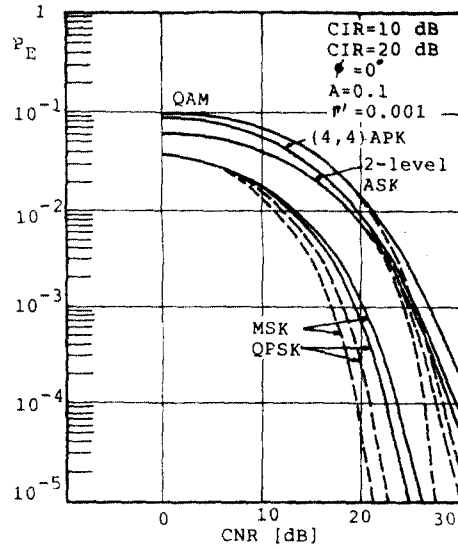


그림 21. 임펄스 잡음 존재하에서 간섭파에 따른 각 디지털 변조신호의 심볼 오류

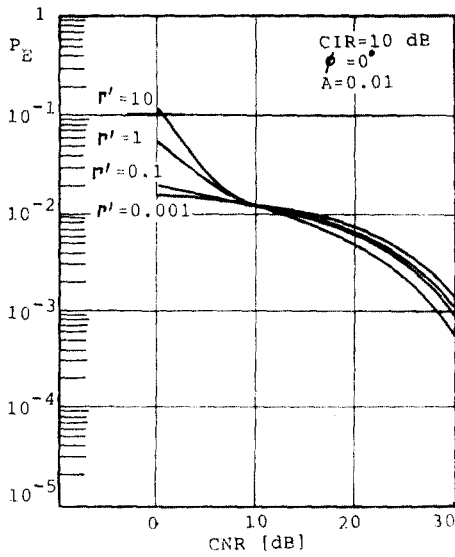


그림 20. r' 의 변화에 따른 동심원 (4,4) APK 신호의 심볼 오류

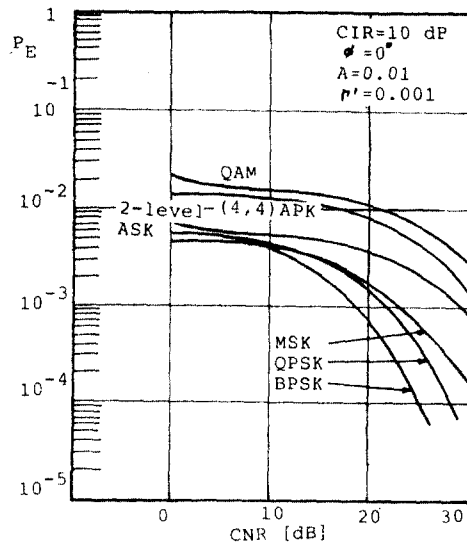


그림 22. 임펄스 잡음환경하에서 각 디지털 변조 시스템의 성능 비교

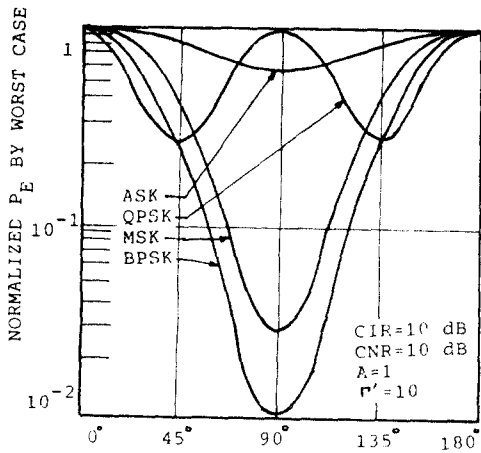


그림 23. 반송파와 간섭파의 상대 위상차에 따른 오류 특성(가장 열화된 경우($\phi=0$)도 정규화된 과 디지를 변조신호의 심볼 오류)

본 연구는 한국과학재단으로부터 1984년도 연구비를 지원받아 행한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] K.Feher, "Digital Modulation Techniques in an Interference Environment", Gainesville, VA:Don White Consultants, 1977.

[2] S.J.Cho, "Intersystem Radio Interference between Analog Frequency Modulation System and Digital Phase Modulation System", Ph.D. dissertation, Dept. of Commun. Eng., OSAKA Univ. Japan, 1981.

[3] S.J.Cho and B.O.Kong, "Impulsive Noise", Radio Bulletin in Korea, No.8, pp.24-27, June 1983. No.9, pp.33-38, Sep. 1983.

[4] D.Middleton, "Statistical-Physical Models of Electromagnetic Interference", IEEE Trans. on Electromag. Compat., vol.EMC-19, No.3, pp.106-127, Aug. 1977.

[5] B.O.Kong and S.J.Cho, "PSK Error Performance with Impulsive Noise and Cochannel Interference", KIEE Journal, vol.20, No.1, Jan. 1983.

[6] S.Kabasawa, N.Morinaga, and T.Namegawa, "Effect of Interference on MSK Signal", Paper of Technical Group on Commun. Syst., IECE in Japan, CS-79-47, June 1979.

[7] B.O.Kong, J.W.Chai, and S.J.Cho, "APK Error Performance in the Environment of Cochannel Interference and Impulsive Noise", Symposium in KICS, vol.3, No.1, pp.37-41, May 1984.