

톤간섭 및 多重간섭下에서 諸般 디지털 變調信號의 誤率特性 比較

正會員 孔 炳 玉* 正會員 趙 成 俊*

A Comparison of the Error Rate Performances of Various Digitally Modulated Signals in the Environment of Tone / Multiple Interferer

Byung Ock KONG*, Sung Joon CHO* *Regular Members*

要 約 본 논문에서는 가우스잡음환경하에서 톤(tone)간섭 및 다중간섭의 영향을 받는 디지털 변조신호의 성능을 연구하기 위해 각 디지털 변조신호별로 일반 오용직을 유도하였다. 유도된 오용직으로부터 평균 신호전력 대 잡음전력의 비(CNR, ρ_c), 평균 신호전력 대 톤간섭과 전력의 비(CIR, ρ_n), 평균 신호전력 대 다중간섭과 전력의 비(CIR, ρ_m)을 파라미터로 하여 수치계산한 다음 오용그래프로 나타내어 그 결과를 비교, 검토하였다.

비교대상의 디지털 변조방식으로 각 진폭편이변조(ASK), 위상편이변조(PSK), 주파수편이변조(FSK), 최소주파수편이 변조(MSK), 직교진폭변조(QAM) 및 진폭위상변조(APK)를 택하였다.

검토한 결과, 정보량이 적을때에는 위상변조가 유리하나 정보량이 많아지면 혼합변조방식을 이용한 다지화가 유리하며, 전반적으로 다중간섭의 영향이 크게 나타나고 있고 톤간섭은 CIR이 약 20[dB]이상이면 그 영향이 거의 없어진다. 또한 진폭변조를 이용하는 시스템은 다중간섭의 영향을 특히 더 받는다. 또한 강한 잡음환경하에서는 다중간섭이 톤간섭보다 더 영향을 미치고 있으나 약한 잡음환경하에서는 주로 톤간섭에 영향을 받는다.

ABSTRACT The error rate equations of digitally modulated signals transmitted through the Gaussian noise and tone / multiple interference channel have been derived. Using the derived equations of error probabilities in the environments of Gaussian noise-tone interferer and Gaussian noise multiple interferer, the error rate performances of various digitally modulated signals have been evaluated, and compared in graphs as a function of average carrier-to-tone interferer power ratio(CIR, ρ_n), average carrier-to-multiple interferer power ratio(CIR, ρ_m) and the average carrier-to-Gaussian noise power ratio (CIR, ρ_c).

In this paper, the modulation schemes such as amplitude shift keying (ASK), phase shift keying(PSK), frequency shift keying(FSK), minimum shift keying(MSK), quadrature amplitude modulation(QAM) and amplitude phase shift keying(APK) have been selected for the study of performance comparison.

*韓國航空大學 大學院 航空電子工學科
Dept. of Avionics Eng., Graduate School
of Hankuk Aviation University
論文番號: 90-81(接受1990. 3. 30)

The results of comparison show us that, in low bits/sec/Hz, PSK is superior to the other schemes, but in high bits/sec/Hz, mixed multi ary type is better than single multi ary type. And in strong noise environment, the multiple interferer has much influence than tone interferer, however, in low noise environment, the major error factor is tone interferer. But tone interference effect nearly disappears over specified CIR level about 20[dB]. And the modulation schemes using amplitude are heavily influenced by multiple interference.

I. 서론

인류사회가 전기통신의 발명과 발전에 힘입어 현대의 문명사회를 이룩한 것은 기지의 사실이다. 더욱이 컴퓨터의 발전과 급속한 보급이 종합 정보 통신망의 구축으로 발전하면서 기존의 아날로그 통신시스템은 디지털 통신시스템으로 대체되고 현대의 정보혁명시대를 맞이하고 있다. 이것은 산업 및 군사부분 뿐만 아니라 우리들의 일상생활과도 밀접한 관계에 있다. 더욱이 유한한 자원인 무선전파를 이용하는 시스템이 날로 증가하고 있으며 일상의 음성통신 뿐만 아니라 우주통신, 원격제어, 이동통신, 의료용통신망, 치안통신망, 직접위성방송(DBS) 등에서도 디지털무선통신의 역할이 증대되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

디지털통신을 위한 변조방식으로서는 대표적인 것이 진폭편이변조(amplitude shift keying : ASK), 위상편이변조(phase shift keying : PSK), 주파수편이변조(frequency shift keying:FSK), 최소주파수편이변조(minimum shift keying:MSK), 직교진폭변조(quadrature amplitude modulation:QAM) 및 진폭위상변조(amplitude phase shift keying:APK) 등이 있으며 사용목적과 주위의 조건, 경제성, 효율 및 성능 등을 고려하여 선택된다.⁽³⁾⁽⁴⁾

컴퓨터통신으로도 대표되는 디지털통신은 아날로그통신과는 달리 수신자가 임의로 오류를 정정하여 해석할 수는 없다. 즉, 아날로그통신에서는 약간의 잡음 등에 의해 통신품질이 저하된다 해도 어느정도 해독할 수는 있지만 디지털통신에서는 순수한 정보만을 보낼때 그 오류정도를 알수 없다. 이것은 채널에서의 영향이 중요하다는 것을 말하며 여러가지 제한요소중에서도 특히 채널에서의 세번 일화요소에 대한 연구가 중요시되고 있다. 채널상에서의 문제로는 잡음, 간섭과

및 케이팅 등을 들수 있다. 특히 현대의 산업화, 도시화, 통신기기의 밀집화 등은 간섭환경을 가속시켰으며 유한자원인 무선주파수대의 재사용에 따라 점차 그 영향이 커지고 있다.⁽⁵⁾⁽⁷⁾ 간섭에는 동일대역의 이용에 따라 발생할 수 있는 동일채널간섭(cochannel interference:CCI)과 인접대역의 사용 및 고조파로 인해 사용대역이 침투당하여 발생하는 인접채널간섭(adjacent channel interference:ACI), 그리고 인위적인 재밍(jamming) 등이 있다. 이 중에서도 무선주파수대의 효율적인 이용과 사용자의 급증으로 인한 동일채널간섭의 영향이 가장 크다.⁽⁸⁾⁽⁹⁾

보다 효율적인 새로운 디지털통신을 목표로 하여 앞에서 다룬 세번 문제점들을 감안하여 최적 시스템을 설계하고자 할때 세번 성능 열화 요인들에 대한 기초적인 연구가 선행되어야 하겠고 이어서 각종 디지털 변복조 시스템에 대한 연구와 함께 통신로의 세번 현상 등에 대해 종합적인 해석과 설계한 디지털통신계의 성능 분석이 필요하다.

종래의 잡음과 간섭현상을 다룬 논문에서는 동일채널 동간섭 현상에 대한 해석이 중심이 되었고⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ 국부적인 해석이 되었으나 본 논문에서는 외부에서 혼입된 간섭과로서 부호간간섭(intersymbol interference:ISI)과 구별되는 주파수간섭(frequency interference)에 대해 고찰하기로 하며 특별히 강한 정현파상의 톤간섭파(tone interferer)와 대수적으로 규명할 수 없이 수많은 간섭파가 겹쳐서 들어 오는 다중간섭파(multiple interferer)⁽¹²⁾에 대해 가우스잡음 환경하에서 세번 디지털변조신호(ASK, PSK, FSK, MSK, QAM 및 APK)가 받는 영향을 구명하고 비교, 검토하기로 한다.

II. 간섭환경

공간분할 다중화(SDM)의 경우 기존 사용주파수대의 효율적인 이용을 위해 허용되는 간섭레벨이 계산되면 동일주파수를 재사용할 수 있다. 예로서 '인공위성을 이용한 통신에서 스포트 비임(spot beam)을 이용하여 지역별로 동일주파수대를 이용할 수 있고 또한 셀(cell)방식의 육상 이동통신에서 각 국별로 동일주파수를 사용한다⁽²²⁾⁽²³⁾. 중계기를 이용하는 경우에도 동일대역의 재사용에 따른 간섭은 동일채널간섭이 되며 그의 영향은 다른 간섭보다 크다.

주파수분할 다중화(FDM)나 병렬 시스템의 경우, 충분한 주파수대역의 격리가 없거나 완충대역(guard band)이 작으면 인접된 신호가 주파수 스펙트럼상에서 침투해 들어온다. 그 중심주파수가 대역의 밖에 있을 경우 이것은 인접채널 간섭이 되며 필터가 불충분하여 고조파 성분이 침투해 들어와서 인접채널간섭의 효과를 가져온다. 인접채널간섭의 영향은 특정 시스템의 필터 특성에 크게 좌우되며 또한 희망신호와 간섭신호의 반송파 주파수차에 반비례한다.

1. 톤(Tone) 간섭

일정한 주파수의 정현파가 희망신호에 대역내에 들어올 때 이를 톤간섭이라 하며 간섭파는 식(1)과 같다.⁽²⁴⁾

$$i(t) = I \cos(2\pi f_1 t + \phi) \\ = I \cos[2\pi(f_c + f_d)t + \phi] \quad (1)$$

단, $f_1 (= f_c + f_d)$: 간섭신호의 주파수.

f_c : 희망신호의 중심주파수

f_d : 희망신호와 간섭신호간의 주파수 편차.

I : 간섭신호의 진폭.

ϕ : 간섭신호의 순시위상.

식(1)에 대한 스펙트럼은 그림 1과 같다.

톤 간섭파가 진폭 및 위상에 미치는 영향을 살펴보기 위해 임의의 변조파를 식(2)와 같이 가정하자.

$$s(t) = f(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (2)$$

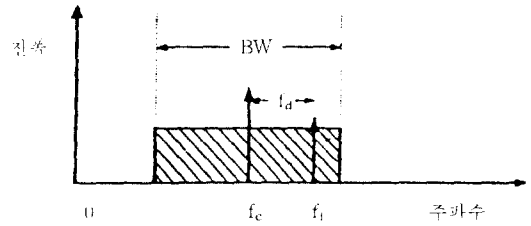


그림 1. 톤 간섭파의 스펙트럼
Spectrum of tone interferer.

단, $f(t)$: 희망신호의 진폭,

θ : 희망신호의 순시위상.

수신신호 $z(t)$ 는 식(3)과 같이 표현된다.

$$z(t) = f(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) \\ + I \cos[2\pi(f_c + f_d)t + \phi] \quad (3)$$

만일, 변조신호의 순시위상차가 0이며 $f(t)$ 가 그림 2와 같이 S 라면 $Z = S + I \cos \phi$ 가 된다.

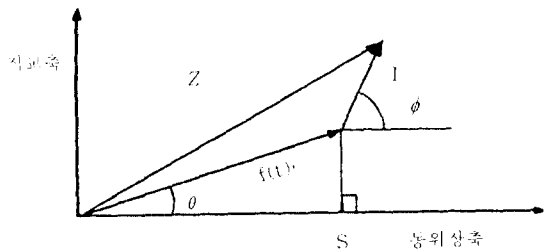


그림 2. 간섭파의 벡터도
Vector diagram of interferer.

2. 다중간섭

특별한 강한 간섭파가 있는 경우외에는 실제의 경우 의도적인 방해전파인 재밍신호(jammer)를 제외하고는 그 특성을 명확하게 구별하기 어려운 정도로 간섭파의 종류와 수가 많다. 이러한 간섭을 다중간섭이라 하며 모든 간섭파에 대해 통계적인 해석을 하면 실제로는 잡음과 같은 특성을 나타낸다.⁽²⁵⁾

이러한 간섭파는 확률적으로 고려해야 하는데

진폭값을 가우스분포의 법칙을 따른다는 것이 잘 알려져 있다. 즉, 여러개의 간섭파가 진폭 I의 값을 가질때의 확률분포함수는 다음과 같다.

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

단, σ_I^2 : 간섭파의 평균전력.

간섭파만에 의한 시스템의 영향을 실제의 운용에 있어서 무의미하므로 이따한 시스템에도 발생되는 잡음의 영향을 고려해야 한다. 즉, 잡음과 간섭의 결합 확률분포함수를 유도하여 적용시킬 필요가 있다. 잡음과 간섭에 대한 확률분포함수를 각각 $p_G(x)$ 및 $p_I(x)$ 라 하면 결합확률분포함수 $p(x)$ 는 중첩적분(convolution integral)이 되므로

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

여기서 $p_G(x)$ 는 가우스분포를 따르는 잡음에 대한 확률분포함수이다. 가우스분포의 확률분포함수와 식(4)를 이용하여 식(5)를 정리하면

$$\begin{aligned} p(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_G} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_G^2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_I} \exp\left(-\frac{(x-y)^2}{2\sigma_I^2}\right) dy \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_G^2 + \sigma_I^2)}} \exp\left[-\frac{x^2}{2(\sigma_G^2 + \sigma_I^2)}\right] \end{aligned} \quad (6)$$

III. 잡음과 간섭영향에 의한 디지털신호의 오율특성

1. 가우스잡음과 분간섭하의 오율특성

간섭현상에 의한 디지털신호의 오율특성을 살펴보기 위해 그림 3과 같은 해석모형을 설정하였다. 이 모델은 잡음을 위한 해석모형과 각 송수신기의 동 작을 이상적인 완전히 동기가 되었다고 가정함과 동시에 각 송수신기 또한 이상적인과

고 가정한다.

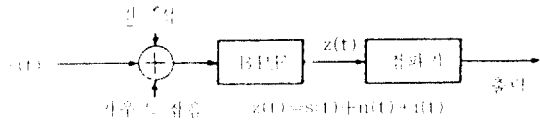


그림 3. 간섭영향의 분석을 위한 해석모형
Analysis model for the study of interference of DS.

2진 디지털 시스템의 경우, 분간섭환경이라면 그림 3으로부터 신호의 순시위상차가 0이라고 가정할때 $+S("1")$ 와 $-S("0")$ 의 2개 신호점의 등거리 위치가 에리 결정점이 되며 잡음 및 간섭파에 의해 수신신호가 결정점의 우측에 있으면 "1"의 신호가, 좌측에 있으면 "0"의 신호가 수신된 것으로 판정한다. 여기서 간섭파는 일반적인 해석을 위해 CCI 및 ACI와 함께 ISI도 포함하여 해석할 수 있는 모델로 가정한다.

잡음벡터 \vec{N} 과 간섭벡터 \vec{I} 의 합성벡터가 $+\vec{S}$ 보다 크거나, 혹은 $-\vec{S}$ 보다 작으면 에러가 된다. 즉,

$$P_{ei} = 1 - 2 \cdot \text{Prob.} [\vec{N} + \vec{I} \cdot \vec{S}] + \text{Prob.} [\vec{N} + \vec{I} \cdot -\vec{S}] \quad (7)$$

단, S : 신호벡터.

여기서 상호전력 P_{av} 는

$$P_{av} = \begin{cases} S^2, & \text{2진 시스템의 경우,} \\ S^2/2, & \text{2진 반송파 진폭의 경우.} \end{cases} \quad (8)$$

"1"과 "0"의 발생확률이 같다면 식(7)은

$$\begin{aligned} P_{ei} &= \text{Prob.} [\vec{N} + \vec{I} \cdot -\vec{S}] \\ &= \text{Prob.} [\vec{N} \cdot -(\vec{S} + \vec{I})] \end{aligned} \quad (9)$$

N 이 가우스잡음을 가졌을 경우에도

$$P_{ei} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_G^2}} \exp(-x^2/2\sigma_G^2) dx$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{S}{\sqrt{2\sigma_G^2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{2\sigma_G^2}} \quad (10)$$

윗식에서 S벡터를 기준으로 하면 I 벡터는 간섭과의 분포식을 따르게 되므로 평균을 취하고 테일러 급수전개식을 이용하면

$$P_{ei} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{S}{\sqrt{2\sigma_G^2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-S^2}{2\sigma_G^2}\right) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k H_{k-1}(S/\sqrt{2\sigma_G^2}) \cdot (1/2\sigma_G)^k \frac{E[I^k]}{k!} \quad (11)$$

단, $H_n(x)$ 는 n차 에르미트 다항식(Hermite polynomial)이며 여기서 $E[I^k]$ 는 I에 대한 k차 모멘트(moment)가 된다. 간섭과가 분간섭이므로 $I = I \cos \phi$ 로 대치되고 위상 ϕ 는 $[0 \sim 2\pi]$ 에 걸쳐 일정한 분포를 하므로 이에 대해 평균을 취하고 정리하면

$$P_{EII} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{S}{\sqrt{2\sigma_G^2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-S^2}{2\sigma_G^2}\right) \cdot \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1}\left(\frac{S}{\sqrt{2\sigma_G^2}}\right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2\sigma_G^2}}\right)^{2k} \frac{1}{2^{2k}(k!)^2} \quad (12)$$

식(12)로부터 제반 디지털 변조방식별 오류식은 식(18)과 같다.^{15) 16)}

$$P_{EII} = \frac{\alpha}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\beta\rho_G}) + \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} \exp(-\beta\rho_G) \sum_{k=1}^{\infty} H_{2k-1}(\sqrt{\beta\rho_G}) \cdot (\rho_G/\rho_{TI})^k \cdot \frac{1}{2^{2k}(k!)^2} \quad (13)$$

단, α, β : 제반 디지털 변조방식별 계수(표1 참조).
 $\rho_G (= P_{av}/\sigma_G^2)$: 평균 신호전력 대 가우스잡음 전력의 비(CNR),
 $\rho_{TI} (= 2P_{av}/I^2)$: 평균 신호전력 대 톤간섭과 전력의 비(CIR).

2. 가우스잡음과 다중간섭하의 오율특성

다중간섭의 영향을 살펴보기 위해서는 식(6)의 다중간섭과 잡음에 대한 확률분포 함수를 식(10)에 응용하면 일반 오율식을 얻을 수 있다. 즉,

$$P_{EMI} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_G^2 + \sigma_I^2)}} \exp\left(\frac{-x^2}{2(\sigma_G^2 + \sigma_I^2)}\right) dx$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{S}{\sqrt{2(\sigma_G^2 + \sigma_I^2)}}\right)$$

$$= \frac{\alpha}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta \cdot \frac{\rho_G \cdot \rho_{MI}}{\rho_G + \rho_{MI}}}\right) \quad (14)$$

단, $\rho_{MI} (= P_{av}/\sigma_I^2)$: 평균 신호전력 대 다중간섭과 전력의 비.

여기서 α 및 β 는 톤간섭과 같은 변조방식별 계수로서 표1과 같다.

3. ASK 시스템

3.1 ASK 신호

다차 진폭변이변조 방식은 OOK(on-off keying) 방식을 다차레벨로 확장시킨 것으로서 식(15)와 같다.¹⁶⁾

$$s_{ASK}(t) = S_I \cos(\omega_c t) \quad (15)$$

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

$2L$: 신호의 레벨수,

$\omega_c (= 2\pi f_c)$: 반송파의 각주파수.

3.2 톤간섭의 영향

그림 4와 같은 ASK 신호의 수신 합성레이저도에식과 같이 간섭파는 $i = I \cos \phi$ 가 되므로 일반 오율식은 식(13)과 같고 가우스잡음에 의한 오율식을 도입하면 톤간섭하의 오율식에 대한 계수는 표 1과 같다.

표 1. 톤간섭 및 다중간섭하의 일반 오율식에 대한 계수
Coefficients for error probability equations in tone/
multiple interference.

변조방식	계수	α	β
ASK		$(2L-1)/L$	$3/(4L^2-1)$
PSK		2	$\sin^2(\pi/M)$
FSK		1	1/2
MSK		1	$\pi^2/16$
QAM		$4(N-\sqrt{N})/N$	$3/(2(N-1))$

단, $\rho_{TI}=(4L^2-1)d^2/3I^2$.

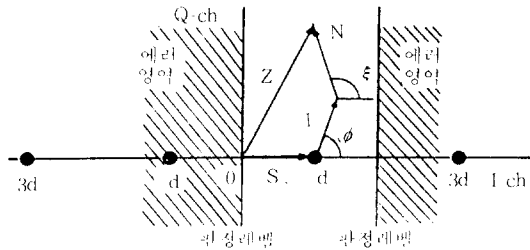


그림 4. 간섭영향하의 ASK 신호의 수신 케이지도.
Phasor diagram of received ASK signal with inter-
ferer and noise.

3.3 다중간섭의 영향

가우스잡음과 다중간섭의 영향을 받은 ASK 신호의 오율식은 식(14)와 같으며 가우스 잡음하의 오율식을 이용하면 각 계수는 표 1과 같다.
단, $\rho_{MI}=(4L^2-1)d^2/6\sigma_I^2$

4. PSK 시스템

4.1 PSK 신호

디지털신호의 각 값에 대응하여 반송파의 0 ~ 2π까지의 위상에 각 정보가 지정되는 방식이 PSK 방식으로서 다상 PSK 신호의 표현식은 식(21)과 같다.⁽¹⁶⁾

$$s_{PSK}(t) = S \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (16)$$

단, S : 신호의 진폭,

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

$\lambda (=0, 1, \dots, M-1)$: 다상정보,

M : 상의 수.

4.2 톤간섭의 영향

그림 5로부터 앞의 절과 같은 방법을 응용하고 가우스잡음시의 PSK 신호의 오율식⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁶⁾ 이용하면 톤간섭시 일반 오율식에 대한 계수는 표 1과 같다.

단, $\rho_{TI}=S^2/I^2$.

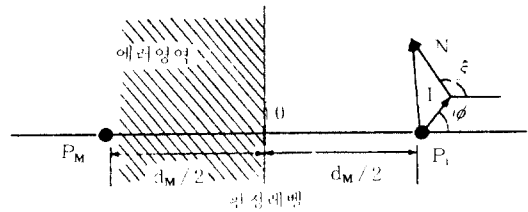


그림 5. 간섭영향하의 PSK 신호의 수신 케이지도.
Phasor diagram of received PSK signal with inter-
ferer and noise.

4.3 다중간섭의 영향

다중간섭시의 PSK 신호에 대해서도 ASK 신호에 대한 해석과 같은 방법으로 가우스잡음하의 오율식을 이용하면 각 계수는 표 1과 같다.

단, $\rho_{MI}=S^2/2\sigma_I^2$.

5. FSK 시스템

5.1 FSK 시스템

BFSK (binary FSK) 변조신호는 식(17)과 같다.⁽¹⁶⁾

$$s_{FSK}(t) = S \cos\{(\omega_c + b_k \omega)t\}. \quad (17)$$

단, $b_k = \begin{cases} -1 : \text{정보비트가 0(space)일때,} \\ +1 : \text{정보비트가 1(mark)일때,} \end{cases}$

$$\omega_c = (\omega_1 + \omega_2) / 2,$$

$$\omega_1 = \omega_c + \omega,$$

$$\omega_2 = \omega_c - \omega.$$

5.2 톤간섭의 영향

그림 6으로부터 앞의 절과 같은 방법으로 가우스잡음하의 오율식을 이용하여 표 1의 계수를 얻을 수 있다.⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁶⁾

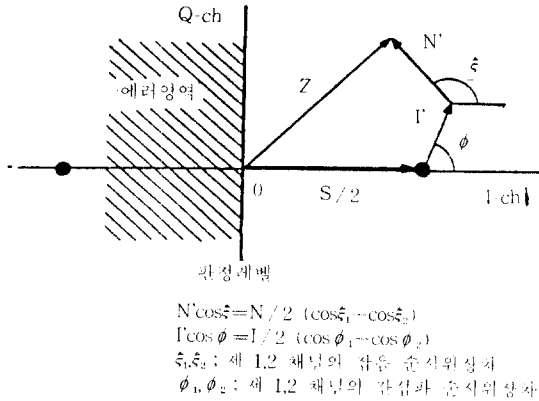


그림 6. 간섭영향하의 FSK 신호의 수신 케이지도
Phasor diagram of received FSK signal with interferer and noise.

5.3 다중간섭의 영향

앞의 절에서와 같은 방법으로 가우스잡음과 다중간섭시의 FSK 신호에 대한 오율식의 각 계수를 구할 수 있으며 표 1과 같다.

6. MSK 시스템

6.1 MSK 시스템

MSK 신호는 연속위상 FSK(CPSK)에서 변조지수가 0.5인 특별한 경우로서 톤간격(tone space)이 최소가 되는 방식이며 병렬변조인 경우 다음과 같이 표현된다.⁽¹⁵⁾

$$s_{MSK}(t) = S[a_I(t) \cos\omega_c t \cos\omega_R t + a_Q(t) \sin\omega_c t \sin\omega_R t], 0 \leq t \leq T. \quad (18)$$

단, $a_I(t), a_Q(t) = \begin{cases} -1 & ; \text{정보비트가 0(space)일때,} \\ +1 & ; \text{정보비트가 1(mark)일때.} \end{cases}$

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

6.2 톤간섭의 영향

그림 7을 이용하여 앞의 방법과 같이 MSK 시스템에 대한 톤간섭영향하의 오율식을 구할 수 있으며 각 계수는 표 1과 같다.

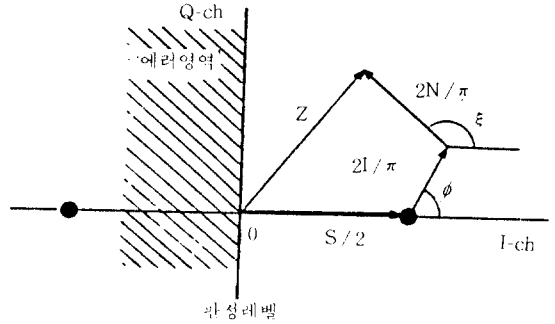


그림 7. 간섭영향하의 MSK 신호의 수신 케이지도
Phasor diagram of received MSK signal with interferer and noise.

6.3 다중간섭의 영향

앞절과 같은 방법으로 다중간섭의 오율식을 구할 수 있으며 각 계수는 표 1과 같다.

7. QAM 시스템

7.1 QAM 신호

동일한 반송파 각주파수 ω_c 를 $\cos\omega_c t$ 의 동상채널과 이와 90°의 위상차를 가지는 $\sin\omega_c t$ 의 직교채널로 나누어 각각을 별도로 ASK 변조하여 동일한 대역으로 전송하는 다차(N-ary) QAM 변조신호는 다음과 같다.⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁶⁾

$$s_{QAM}(t) = S_k \cos(\omega_c t - \phi(t)); \\ = A_k \cos\omega_c t + B_l \sin\omega_c t. \quad (19)$$

단, $A_k, B_l \in \{\pm d, \pm 3d, \dots, \pm(\sqrt{N}-1)d\}$; 직각좌표축상에서의 각각의 신호진폭,

$\phi(t)$: 정보위상.

7.2 톤간섭의 영향

그림 8로부터 앞의 절과 같은 유도과정을 거쳐 고 가우스잡음시의 일반 오율식을 이용하면 식(13)의 각 계수는 표 1과 같다.⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁶⁾

$$\text{단, } \rho_{TI} = (N-1)S^2 / (3\sqrt{N}-1)^2 P_I$$

식(18)에는 중첩성분이 포함되어 있으므로 이를 빼 오율식은 식(20)과 같다.

$$P_{ETI(QAM)} = P_{eTI(QAM)} - 1/4 P_{eTI(QAM)}. \quad (20)$$

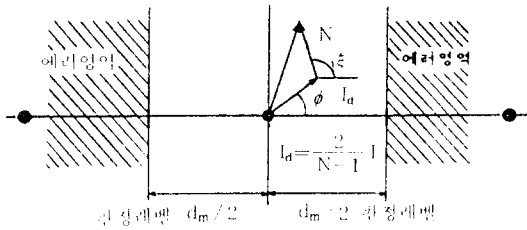


그림 8. 간섭영향하의 QAM신호의 수신 케이지도
Phasor diagram of received QAM signal with interferer and noise.

7.3 다중간섭의 영향

다중간섭시의 일반 오류식은 식(14)와 같으며 가우스잡음하의 QAM 신호의 오류식은^{(15), (16)} 이용하면 각 계수는 모두 1과 같다.

단, $\rho_{MI} = (N-1)S^2 / 16(\sqrt{N}-1)^2\sigma_n^2$.

중첩성분을 뺀 오류율은 다음과 같아 된다.

$$P_{EMI(QAM)} = P_{EMI(QAM)} - 1/4 P_{eMI(QAM)} \quad (21)$$

8. APK 시스템

8.1 APK 신호

APK (혹은 APSK) 변조신호는 정현반송파의 진폭과 위상을 각각 독립된 배이스밴드 신호 $S_1(t)$, $\phi_j(t)$ 에 비례하여 변화시킨 것으로서 다음과 같다.⁽¹⁷⁾

$$S_{APK}(t) = S_1(t) \cos[\omega_c t + k \phi_j(t)] \quad (22)$$

단, $S_1(t)$: 진폭변조정보,

$\phi_j(t)$: 위상변조정보,

k : 위상변조도.

8.2 톤간섭의 영향

톤간섭영향하의 오류식은 다음과 같으며 수신 신호의 합성케이지도는 그림 9와 같다.

$$P_{ETI(4-QAPK)} = P_{ETI(2-ASK)} + P_{ETI(QPSK)} - P_{ETI(2-ASK)} \cdot P_{ETI(QPSK)} \quad (23)$$

8.3 다중간섭의 영향

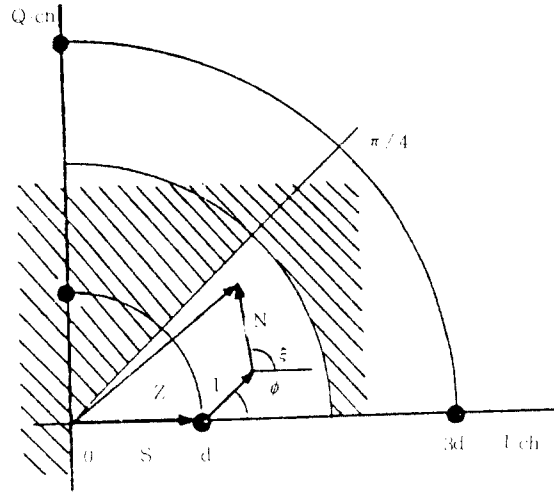


그림 9. 간섭영향하의 APK신호의 수신 케이지도.
Phasor diagram of received APK signal with interferer and noise.

앞의 방법과 같이 유도하면 다중간섭하의 오류식은 다음과 같이 구할수 있다.

$$P_{ETI(4-QAPK)} = P_{EMI(2-ASK)} + P_{EMI(QPSK)} - P_{EMI(2-ASK)} \cdot P_{EMI(QPSK)} \quad (24)$$

IV. 수치계산 및 검토

본 연구에서는 제1차 간섭현상에 대해 고찰하고 톤간섭 및 다중간섭의 영향하에서 제1차 디지털 변조신호의 오류특성을 살펴보기 위해 일반 오류식을 유도하고 평균반송파 전력 대 가우스잡음 전력비(CNR), 평균 신호전력 대 평균 간섭파 전력비(CIR) 등을 파라미터로 하여 수치계산을 한 다음 그래프로 나타냈다.

그림 10, 그림 12, 그림 14, 그림 16, 그림 18, 그림 20에 톤간섭이 평균 신호 전력 대 간섭파 전력비(average carrier power-to-interferer power ratio : CIR)가 10[dB], 20[dB] 및 30[dB]일때 각 디지털 변조방식의 오류특성을 평균신호전력 대 가우스잡음 전력비(CNR)를 파라미터로 하여 그래프로 나타냈다. 또한 그림 11, 그림 13, 그림 15, 그림 17, 그림 19 및 그림

21에는 다중간섭과 가우스잡음 환경하에서 제반 디지털변조 방식별로 오율특성을 CIR 및 CNR을 파라미터로 하여 그래프로 보였다. 모든 변조 방식이 톤간섭보다 다중간섭의 영향을 많이 받으며 CIR이 작을때, 즉, 톤간섭과의 레벨이 높으면 잡음레벨이 낮아지더라도(높은 CNR) 오율특성은 개선되지 않는다.

톤간섭환경(T)과 다중간섭환경(M)하에서 요구되는 오율을 10^{-5} 로 정했을 때, CIR이 20 [dB]라면, 2치전송의 경우, 소요 CNR은, 2-ASK 약 10[dB](T) 및 16[dB](M), 2-PSK 약 9.5[dB](T) 및 10[dB](M), FSK 약 14[dB](T) 및 14[dB](M), MSK 약 13[dB](T) 및 12[dB](M)이고, 8치전송의 경우, 8-ASK 약 27[dB](T) 및 ∞ [dB](M), 8-PSK 약 20[dB](T) 및 23[dB](M), (4,4) APK 약 13.5[dB](T) 및 15.5[dB](M)이며, 16치전송의 경우, 16-PSK 약 29[dB](T), 16-QAM 약 22.5[dB](T) 및 40[dB](M), (8,8) APK 약 20[dB](T) 및 23[dB](M)이다.

그림 22 및 그림 23으로부터 CIR=20[dB]의 경우 제반 디지털 변조방식의 오율특성을 성능순서대로 살펴보면, 톤간섭지 2치전송의 경우, 2-PSK, 2-ASK, MSK, FSK의 순서이고, 8치전송의 경우, (4,4) APK, 8-PSK, 8-ASK의 순서이며, 16치전송의 경우, (8,8)APK, 16-QAM, 16-PSK의 순서이다. 그러나 다중간섭시에는, 2치전송의 경우, 2-PSK, MSK, FSK, 2-ASK의 순서이고, 4치전송의 경우, 4-PSK, 4-ASK의 순서이며, 8치전송의 경우, (4,4) APK, 8-PSK, 8-ASK이고, 16치전송의 경우, (8,8) APK, (4,4,4,4) APK, 16-QAM, 16-PSK, 16-ASK의 순서이다.

알의 검토로부터 진폭변조방식의 경우 톤간섭이나 다중간섭의 영향을 많이 받으며, 톤간섭지 간섭레벨이 어느정도(약 20[dB]) 이하이면 간섭의 영향은 거의 없어지나 다중간섭은 꾸준히 그 영향을 미치고 있다. 즉, CNR이 높아도 다중간섭의 영향을 계속 남아 있으며 톤간섭이나 다중간섭의 레벨이 높을때에는 (낮은 CIR) 잡음

레벨에 무관하게 통신이 불가능해지며 다른 통신 방법을 모색해야 한다.

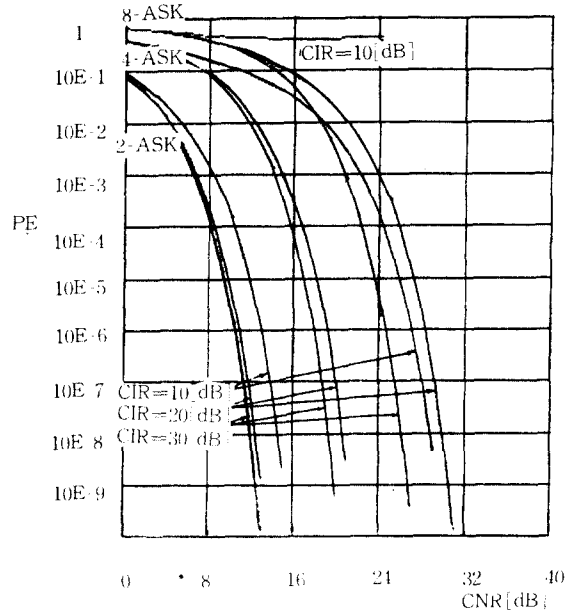


그림 10. 톤간섭과 가우스잡음하의 ASK 신호의 오율
Error rate of ASK signal influenced by tone interferer and Gaussian noise.

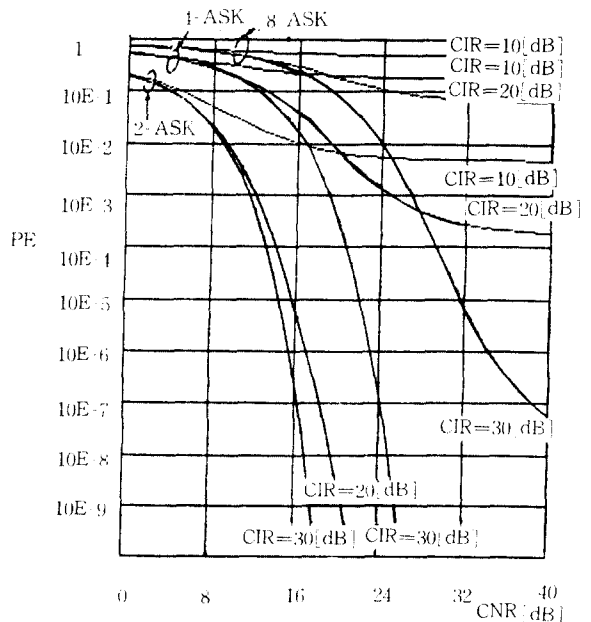


그림 11. 다중간섭과 가우스잡음하의 ASK 신호의 오율
Error rate of PSK signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise.

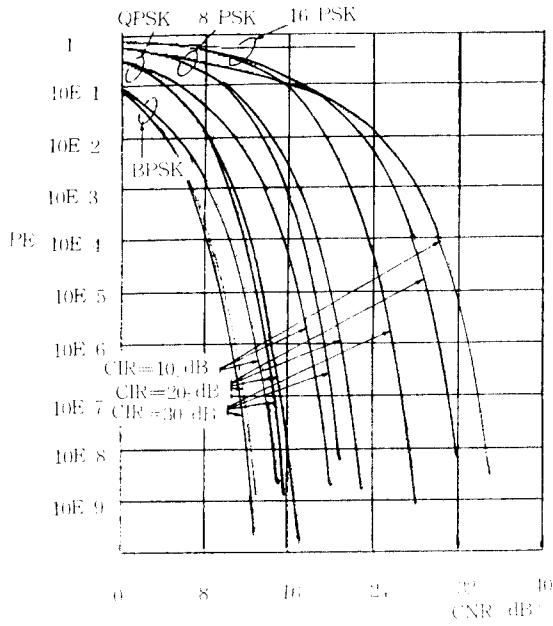


그림 12. 톤 간섭과 가우시안잡음에서의 PSK 신호의 오류율
Error rate of PSK signal influenced by tone-interferer and Gaussian noise.

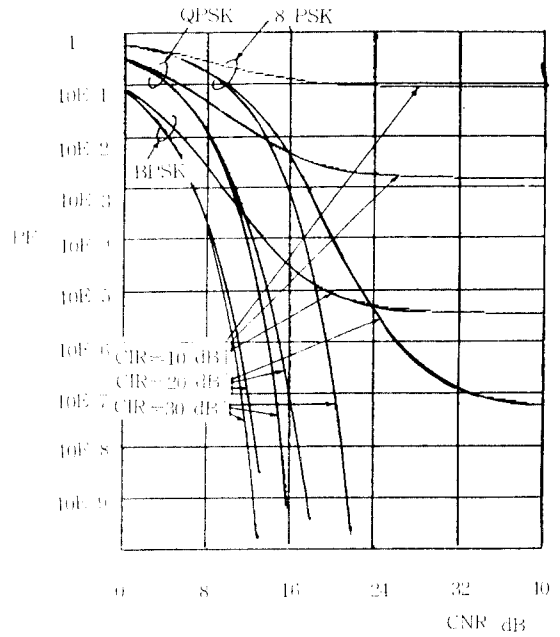


그림 13. 다중 간섭과 가우시안잡음에서의 PSK 신호의 오류율
Error rate of PSK signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise.

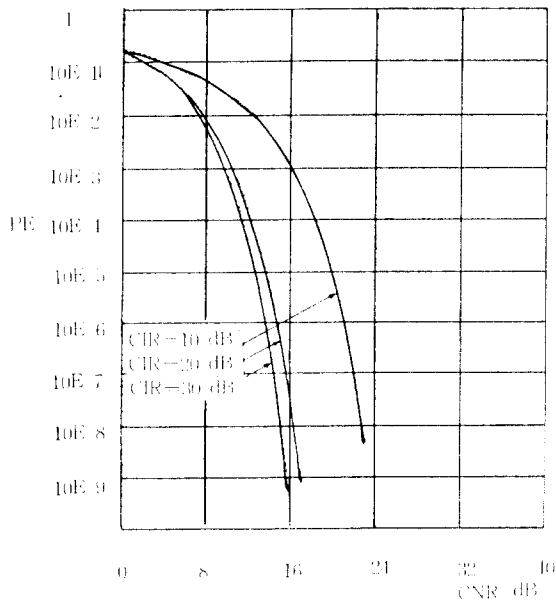


그림 14. 톤 간섭과 가우시안잡음에서의 FSK 신호의 오류율
Error rate of FSK signal influenced by tone-interferer and Gaussian noise.

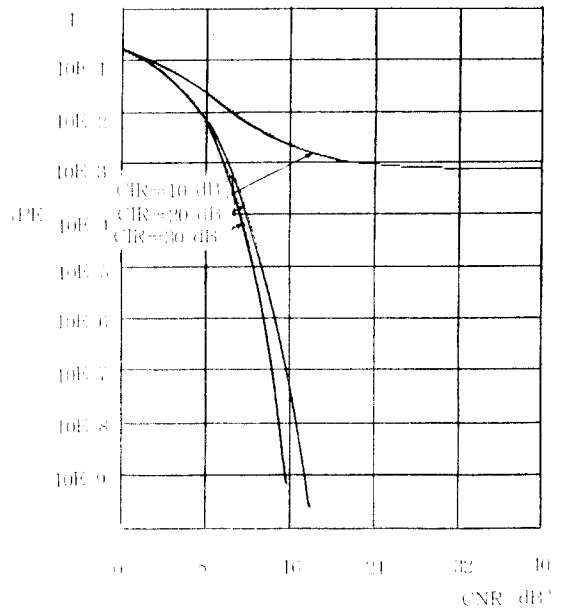


그림 15. 다중 간섭과 가우시안잡음에서의 FSK 신호의 오류율
Error rate of FSK signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise.

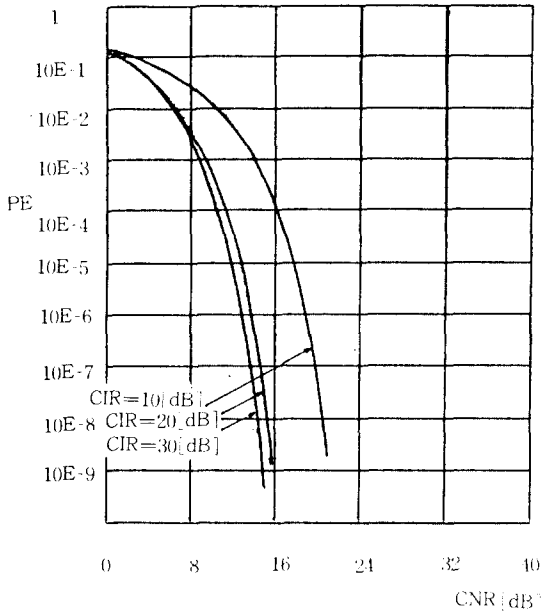


그림 16. 톤간섭과 가우스잡음하의 MSK 신호의 오류
Error rate of MSK signal influenced by tone interferer and Gaussian noise.

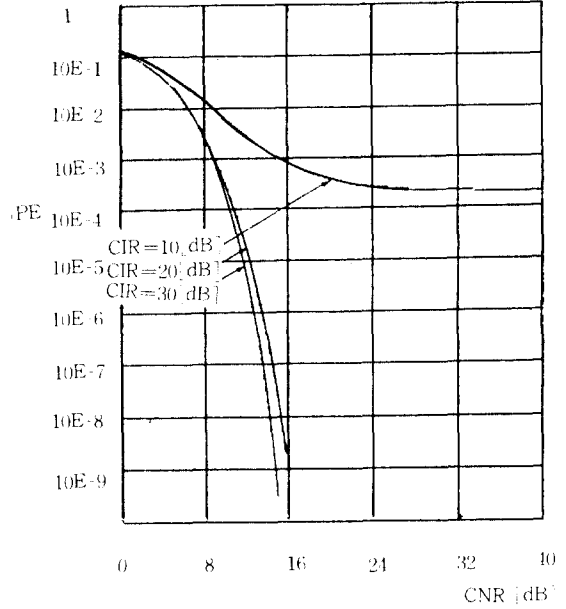


그림 17. 다중간섭과 가우스잡음하의 MSK 신호의 오류
Error rate of MSK signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise.

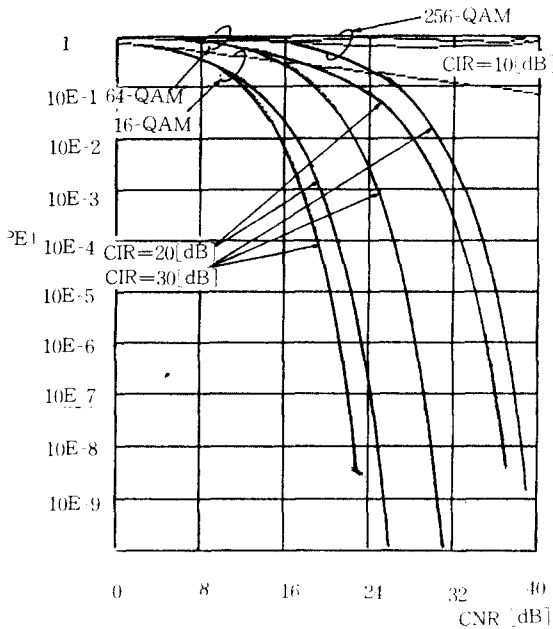


그림 18. 톤간섭과 가우스잡음하의 QAM 신호의 오류
Error rate of QAM signal influenced by tone interferer and Gaussian noise.

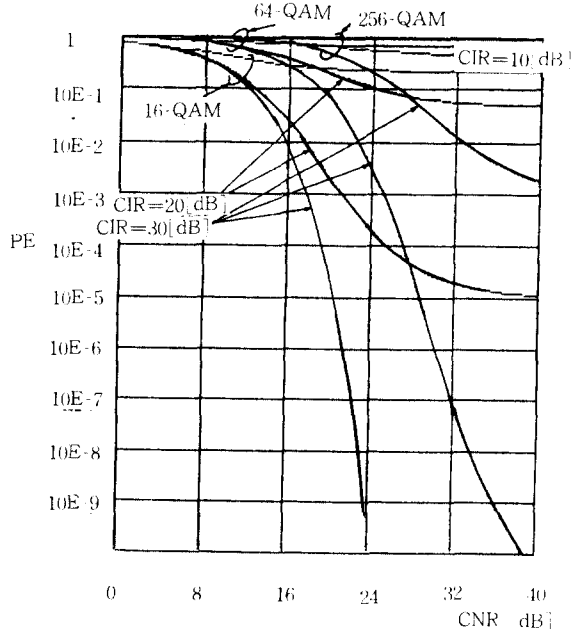


그림 19. 다중간섭과 가우스잡음하의 QAM 신호의 오류
Error rate of QAM signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise.

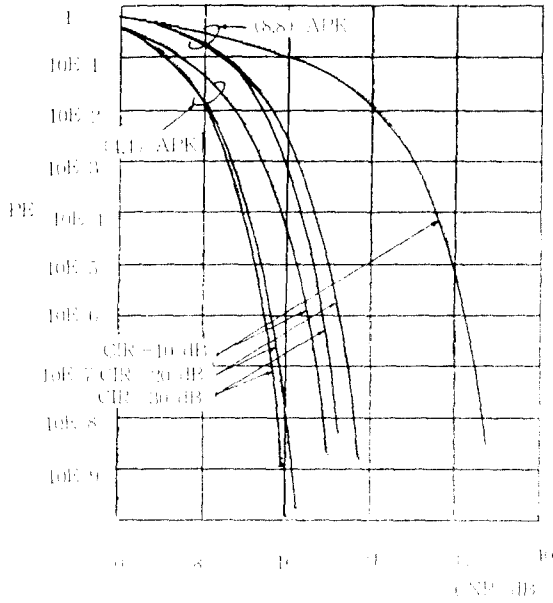


그림 20. 단일 음파에 의한 간섭과 가우시안 잡음에 의한 APK 신호의 오류율
Error rate of APK signal influenced by tone interferer and Gaussian noise

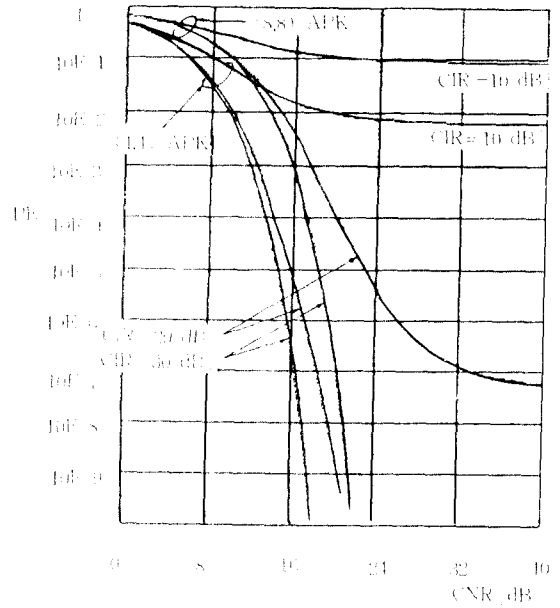


그림 21. 다중 음파에 의한 간섭과 가우시안 잡음에 의한 APK 신호의 오류율
Error rate of APK signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise

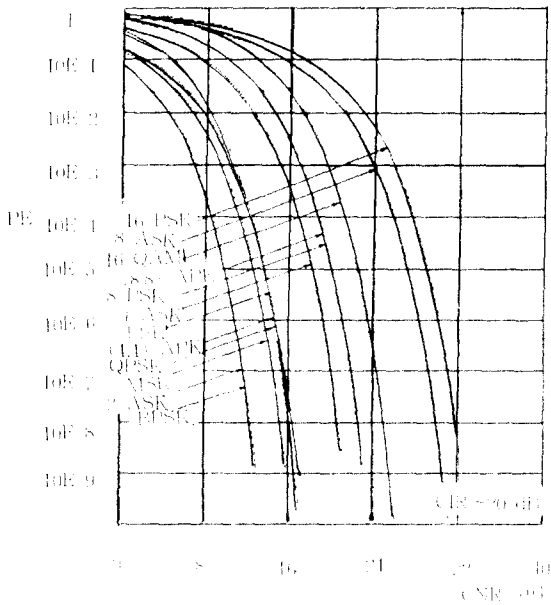


그림 22. 단일 음파에 의한 간섭과 가우시안 잡음에 의한 다양한 디지털 변조 신호의 오류율 비교
Error rate comparison of various digitally modulated signal influenced by tone interferer and Gaussian noise

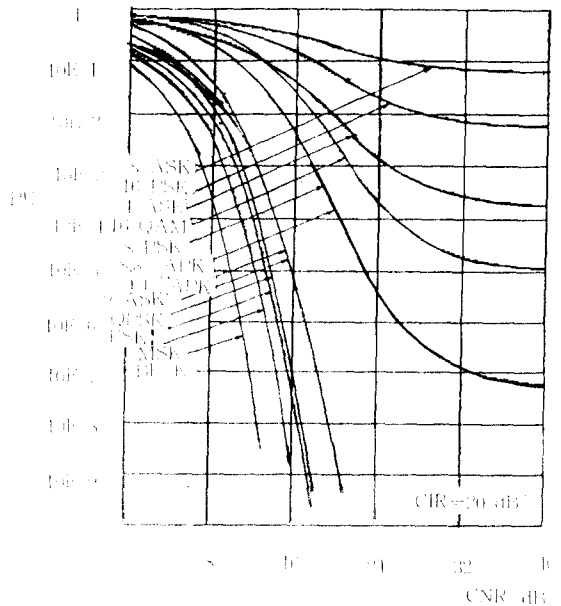


그림 23. 다중 음파에 의한 간섭과 가우시안 잡음에 의한 다양한 디지털 변조 신호의 오류율 비교
Error rate comparison of various digitally modulated signal influenced by multiple interferer and Gaussian noise

V. 결 론

검토된 내용으로부터 가우스잡음과 분간잡 및 다중간섭 환경하에서의 오류특성에 대한 고찰을 이용하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 난, 오류성능의 관점집은 오류 10^{-5} 으로 하였다.

- (1) 단위식분당 정보량 (bits/sec. Hz)이 작은 경우에는 위상변조가 유리하고 진폭정보량이 많아지면 대역폭효율과 오류 성능 고려하여 다지화시키는 것이 효율적이며 특히 혼합변조방식은 단일변조방식의 다지화보다 유리하다.
- (2) 간섭환경하에서는 전반적으로 분간잡보다 다중간섭의 영향을 많이 받으며 분간잡의 레벨이 높으면 잡음레벨이 낮아 지더라도 오류특성은 개선되지 않는다.
- (3) 간섭파의 광공격력이 작을때 동일한 오류성능을 얻기 위한 잡음레벨의 영향은 진폭변조를 이용하는 방식일수록 다중간섭에 크게 의존한다. 예로서 2차전송의 경우, 분간잡의 오류성능의 순서는 2 PSK, 2 ASK, MSK, FSK이나 다중 간섭하에서는 2 PSK, MSK, FSK, 2 ASK의 순이다.
- (4) 다지화했을때 분간잡과 다중간섭이 영향은 단일변조방식일수록 크며 혼합변조방식의 경우에는 그 영향의 차가 작다. 예로서 다중간섭시 16차전송의 경우 오류성능의 순서는 (8,8) APK, (4,4,4,4) APK, 16-QAM, 16 PSK, 16 ASK의 순이다.
- (5) 분간잡의 영향은 CIR이 약 20[dB] 이상이면 그 영향이 거의 없어지나 다중간섭은 꾸준히 영향을 미친다.
- (6) 분간잡이나 다중간섭의 레벨이 매우 높은 경우에는 잡음레벨이 무관하게 통신이 불가능해지므로 다른 통신방법을 모색해야 한다.

참 고 문 헌

1. T.Noguchi, Y.Daido and J.A. Nossek, Modulation techniques for microwave digital radio, *IEEE Comm. Mag.*, vol.24, no.10, pp.21-30, Oct. 1986.
2. D.P.Taylor and P.R.Hartmann, Telecommunication by microwave digital radio, *IEEE Comm. Mag.*, vol. 21, no.8, pp.11-16, Aug. 1986.
3. J.D.Oetting, A comparison of modulation techniques for digital radio, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-27, no.12, pp.1752-1758, Dec. 1979.
4. B.Slar, A structured overview of digital communications, *IEEE Comm. Mag.*, Aug. 1983.
5. K.Feher, *Digital modulation techniques and interference environment*, Gaithersburg, VA : Don White Consultant, 1977.
6. B.O.Kong and S.J.Cho, PSK error performance with impulsive noise and cochannel interference, *IEEE Journal*, vol.20, no.1, pp.55-62, Jan. 1983.
7. S.J.Seo, S.J.Cho and K.Feher, The performance of multiary QAM systems in the presence of non-Gaussian impulsive noise, *Proc. IEEE International Conference on Comm.*, '87, Seattle, pp.1832-1836, June 1987.
8. J.Ogawa, S.J.Cho, N.Morinaga and T.Namekawa, Optimum detection of M-ary PSK signal in the presence of CW interference, *IECE Trans. in Japan*, vol. E64, no.12, pp. 800-806, Dec. 1981.
9. R.Maciejko, Digital modulation in Rayleigh fading in the presence of cochannel interference and noise, *IEEE Trans. on Comm.*, vol.COM-29, no.9, pp.1379-1386, Sep. 1981.
10. V.K.Prabhu, Modified Chernoff bounds for PAM systems with noise and interference, *IEEE Trans. on Inform Theory*, vol.IT-28, no.1, pp.95-100, Jan. 1982.
11. 日本電電公社, テイシタルマイクロ波通信, 企画センタリ, 1984.
12. J.S.Engel, The effect of cochannel interference on the parameters of a small cell mobile telephone system, *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol.VT-18, no.3, pp.110-116, Nov. 1969.

13. W.R.Young, Advanced mobile phone service : Introduction background, and objectives, *B.S.T.J.*, vol.58, no.1, pp.1-14, Jan. 1979.

14. W.C.Jakes, *Microwave mobile communications*, New York : John Wiley, 1974.

15. 공병옥, 세반 디지털통신 시스템 구성의 최적화와의 시뮬레이션 평가에 관한 연구, 한국과학재단 보고서, 1990년 2월

16. 김현철, 고봉진, 공병옥, 조성준, 가우스성 잡음과 임펄스성 잡음이 혼재하는 다중전파 케이딩 전송로 상에서의 제방 디지털 통신 시스템 특성의 종합 분석 및 비교에 관한 연구(제1부), 한국통신학회 논문지 제14권 3호, pp.263-279, 1989년 6월

17. W.Magnus, F.Oberhettinger, R.P.Soni, *Formulas and theorems for the special functions of mathematical physics*, 3'rd ed., New York : Springer-Verlag, 1966.



孔炳玉(Byung Oek KONG) 正會員
1958年11月27日生
1977年3月~1981年2月: 韓國航空大學
航空電子工學科 卒業(工學士)
1981年3月~1983年2月: 韓國航空大學
大學院電子工學科卒業(工學碩士)
1988年3月~現在: 本校大學院電子工學
科 博士課程 在學中(通信專攻)
1988年3月~現在: 大有工業專門大學
電子通信科 專任講師



趙成俊(Sung Joon CHO) 正會員
1946年1月9日生
1965年4月~1969年2月: 韓國航空大學
航空通信工學科 卒業(工學士)
1973年4月~1975年2月: 漢陽大學校大學
學院 卒業(工學碩士)
1977年4月~1981年3月: 大阪大學大學
院 通信工學科 卒業(工學博士)
1969年4月~1972年7月: 海軍技術將校
1972年8月~現在: 韓國航空大學 航空
通信情報工學科 教授