

가우스성/비가우스성 잡음과 페이딩 환경하에서의 계반 디지털 통신방식의 오율특성

°김 현 철 *

조 심 준 **

한국항공대학 통신정보공학과

The Comparative Error Performance of Digital Communication Systems in Gaussian/Non Gaussian Noise and Fading Environments

Hyun Cheol KIM, *

Sung Joon CHO **

*, ** Dept. of Telecomm. and Information Eng., HanKuk Aviation College.

ABSTRACT : The error rate equations of digital modulated signals transmitted through the fading channel have been derived in the Gaussian/Impulsive noise environments. Using the derived equations for the error probabilities of ASK, QAM, FSK, MSK, PSK and DPSK signals, the error rate performance of digital modulation systems have been evaluated and represented in the graphs as parameters of carrier-to-noise power ratio(CNR) and fading figures. The results show that, in the fading environment, the error is occurred more frequently by gaussian noise in the deep fading. However in the shallow fading, impulsive noise is more dominant than gaussian noise in occurring the error.

1. 서 론

오늘날 급증하고 있는 통신수요로 인하여 디지털 정보의 대량 전송이 필요하게 되었다. 디지털 통신은 기존의 아날로그 통신에 비해 그 특성이 우수하기 때문에 모든 통신망이 점차 디지털화 되어가고 있으며, 무선 주파수의 이용도 급증하여 제한된 무선 주파수대의 효율적인 이용을 위한 여러가지 변조 기술이 요구된다.

디지털 무선 통신시스템에서는 대개가 다중 전파로써 거치게되어 신호의 강도가 변하는 페이딩 현상이 일어난다. 그리고 산악과 및 도시화로 인해 각종 전기기에서 발생하는 전자파와 자동차의 점화 잡음등은 임펄스성을 띠는데 이들은 디지털 시스템의 중요한 열화 요인이 된다.

잡음 모델로는 가우스성과 비가우스성 잡음을 포함하는 Middleton의 현대적 임펄스성 잡음을 도입하였다[2].

디지털 변조방식으로는 진폭변조(ASK)방식, 직교진폭 변조(QAM)방식, 주파수변조(FSK)방식, 최소편이 주파수 변조(MSK)방식, 위상변조(PSK)방식 그리고 차등위상변조(DPSK)방식을[3]~[5] 택하여 이들 변조신호가 잡음의 존재하에 페이딩 채널을 통과하는 경우의 특성을 오율적인 측면에서 비교 검토하였다.

2. 해석 모델

본 연구는 전송로상에 존재하는 잡음과 다중전파로 페이딩이 디지털 통신시스템에 미치는 영향을 살핀다. 단, 시스템은 이상적이고 수신기는 송신기와 완전히 동기되었다고 가정한다.

2.1 계반 디지털 변조신호

(1) ASK신호

s_A(t) = S cos w_c t

(1)

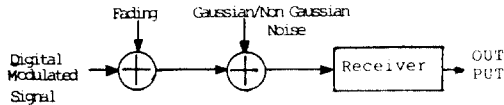


그림 1. 일반적인 해석 모델
Generalized analysis model.

$$SE(\pm d, \pm 3d, \dots, (2L-1)d)$$

2L: ASK신호의 level수

2d: 신호점 사이의 거리

(2) QAM신호

$$s_q(t) = A_j \cos \omega_c t + B_k \sin \omega_c t \quad (2)$$

$$A_j, B_k \in (\pm d, \pm 3d, \dots, (2L-1)d)$$

직각 좌표축에 따라 놓여있는 신호의 진폭

(3) FSK신호

$$s_f(t) = S \cos((\omega_c + b_k \omega) t) \quad (3)$$

b_k 는 복류형 부호 (-1, 1)로 한다.

$$\omega_c + b_k \omega = \begin{cases} \omega_1 & b_k = -1 \\ \omega_2 & b_k = 1 \end{cases}$$

(4) MSK 신호

$$s_M(t) = \sum_{k: \text{even}} a_k P(t-KT) \cos \omega_r t \cos \omega_c t + \sum_{k: \text{odd}} a_k P(t-KT) \sin \omega_r t \sin \omega_c t \quad (4)$$

$$a_k = \pm 1$$

S: 신호의 진폭

$$P(t) = \begin{cases} 1 & -T \leq t \leq T \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$$

$$\omega_r = 2\pi/4T$$

(5) PSK신호

$$s_p(t) = S \cos(\omega_c t + 2\pi\lambda/M) \quad (5)$$

S: 신호의 진폭

$\lambda (= 0, 1, 2, \dots, M-1)$: 다상정보

M: level수 (상의수)

(6) DPSK신호

$$s_{dp}(t) = S \cos(\omega_c t + \phi) \quad (6)$$

S: 신호의 진폭

ω_c : BPF의 중심주파수

2.2 잡음

(1) 가우스성 잡음

평균값이 0인 협대역 가우스성 잡음은 다음과 같다. [6]

$$n(t) = N \cos(\omega_c t + \phi)$$

$$= n_c(t) \cos \omega_c t - n_s(t) \sin \omega_c t$$

잡음의 진폭 N은 레일리 분포를 하고 위상 ϕ 은 일양 분포한다. 또한 $n(t)$ 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

단, σ^2 은 잡음 전력이다.

(2) 비가우스성 잡음

가우스성 잡음을 포함하는 임펄스성 잡음에 대한 Middleton이 전개한 협대역 잡음의 포락치 N의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(N) = \frac{C^N}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{Q^2} \exp\left[-\frac{N^2}{2WQ^2}\right], N \geq 0$$

$W (= \omega_c^2 + \Omega_{DA}^2)$: 전체 잡음전력

A: 임펄스지수

$\Gamma' (= \Omega_{DA}^2 / \Omega_{DA}^2)$: 가우스성잡음대 임펄스성잡음의 전력비

N: 순시잡음 포락선

포락선 N와 위상 θ 로 표시된 잡음항을 cos축과 sin축으로 분해하여 cos항에 영향을 주는 성분을 Jacobi-an을 이용하여 x의 확률밀도함수를 구하면

$$P(x) = e^{-\frac{x^2}{2WQ^2}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}WQ^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2WQ^2}\right) \quad (8)$$

2.3 페이딩

원거리 지상 마이크로파 회선상에서 레일리 페이딩과 같이 빠른 변화를 갖는 페이딩은 시스템의 성능을 크게 저하시킨다. 실제로 전송 채널상에서 다중 전파로 페이딩은 레일리 페이딩보다 강하거나 약할 수 있기 때문에 본 해석에서는 나카가미(Nakagami) 교수의 m-분포 페이딩을 도입한다. 페이딩을 받는 신호의 진폭 S의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(S) = \frac{2m^m S^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^m} \exp\left(-\frac{mS^2}{\Omega^2}\right) \quad (9)$$

$\Gamma(\cdot)$: Gamma 함수

$\Omega^2/2$: 신호의 평균전력

m: 페이딩 지수 (m=1, 레일리 페이딩)

3. 각 방식의 복조오율

3.1 ASK

그림 2.에 ASK의 오율특성을 구하기 위한 해석 모델을 보인다. 잡음의 영향을 받았을 때의 합성신호의 페이저도는 그림 3.과 같다.

(1) 가우스 잡음만의 영향

$N \cos \phi$ 가 여러영역에 들어갈 확률이 오율이되므로 한쪽 방향의 오율은 $P_{00} = \text{Prob}\{N \cos \phi > d\} = \text{Prob}\{N \cos \phi < -d\}$

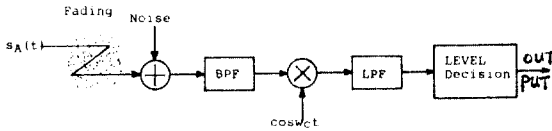


그림 2. ASK수신기의 해석 모델
Analysis model of ASK receiver.

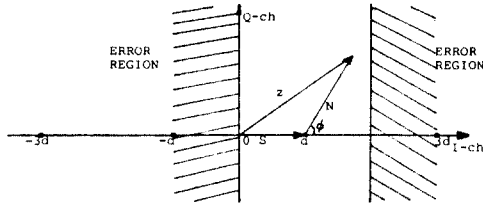


그림 3. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of receiver composite signal.

$N \cos \theta = x$ 라 놓고 식 (7)을 이용하면

$$P_{e0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(d/\sqrt{2}\sigma) \quad (10)$$

부호점이 양쪽에 있으므로

$$P_e = \operatorname{erfc}(d/\sqrt{2}\sigma) \quad (11)$$

2L(=4) level ASK의 평균부호오율은

$$P_e = \frac{3}{4} \operatorname{erfc}(\sqrt{P_a}/\sqrt{5}) \quad (12)$$

$P_a = 5d^2/2\sigma^2$: 평균신호대 잡음 전력비

(2) 가우스잡음과 페이딩의 영향

잡음에 의한 2level ASK신호의 오율은

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(S/2\sqrt{2}\sigma) \quad (13)$$

신호가 페이딩을 받으면 수신신호의 진폭 s가 m- 분포하므로 s에 대하여 평균을 취하면 된다.

$$P_{ef} = \int_0^\infty P_e(s) P_e \cdot ds$$

$$= \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{P_0}{4\pi m}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{P_0}{4m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{P_0}{4m+P_0}\right) \quad (14)$$

$$P_0 = \frac{5d^2}{2\sigma^2} : \text{CNR}$$

(3) 임펄스 잡음만의 영향

식 (7), (8)의 p. d. f를 비교하므로써 식 (14)에 계수

$e^{-A} \sum_{j=0}^\infty \frac{A^j}{j!}$ 을 곱하고, P_0 를 σ^2 으로 나누어주면 된다는 것을 알 수 있다.

$$P_e = \frac{3}{4} e^{-A} \sum_{j=0}^\infty \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc}(\sqrt{P_a}/\sqrt{5}\sigma) \quad (15)$$

$$P_a = \frac{5d^2}{2\omega}$$

(4) 임펄스 잡음과 페이딩의 영향

식 (14)에 계수 $e^{-A} \sum_{j=0}^\infty \frac{A^j}{j!}$ 을 곱하고, P_0 를 σ^2 으로 나누어 준다.

$$P_{ef} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^\infty \frac{A^j}{j!} \left[1 - \sqrt{\frac{P_0}{\pi m \sigma^2}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{P_0}{4m\sigma^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \right]$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{P_0}{4m\sigma^2+P_0}\right) \quad (16)$$

$$P_0 = 5d^2/2\omega$$

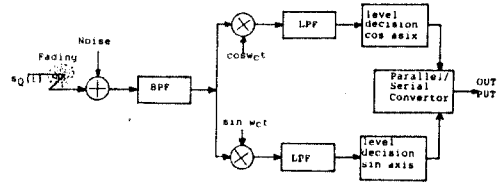


그림 4. QAM수신기의 해석모델
Analysis model of QAM receiver.

3.2 QAM

(1) 가우스 잡음만의 영향

그림 5.에 수신신호의 최대진폭을 S라고 하면 최소부호점간의 거리 d_n 은

$$d_n = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{n}-1} S$$

그림 6.에서 잡음의 영향을 받을때 최소부호점간의 부호 오율은

$$P_{e0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(d_n/2\sqrt{2}\sigma) \quad (17)$$

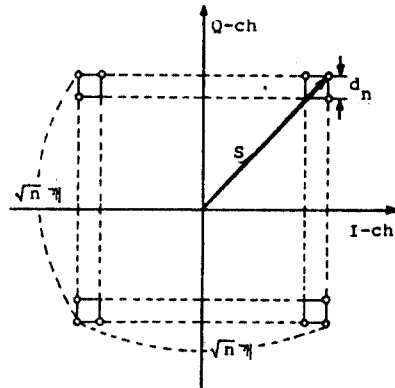


그림 5. n차 QAM신호의 신호 공간상 표현
Representation of n-ary QAM signal in signal space.

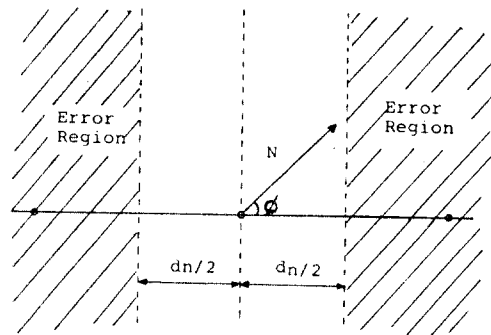


그림 6. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of composite signal.

16QAM의 경우 d_n 은

$$d_n = \frac{\sqrt{2}}{3} S$$

16QAM의 평균신호 전력은

$$P = \frac{5}{18} S^2$$

$$\therefore P_{e0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho_a}/\sqrt{10}) \quad (18)$$

$\rho_a = 5d^2/4\sigma^2$: 평균신호대 잡음 전력비
16QAM은 각 부호의 위치에 따라 인접 부호점의 수가 다르므로 부호오율도 다르게되므로 평균 부호오율은

$$P_e = \frac{3}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho_a}/\sqrt{10}) \quad (19)$$

I-ch과 Q-ch에서의 중복 에러를 고려하면 최종적인 평균 오율은

$$PE = P_e - \frac{1}{4} P_e^2 \quad (20)$$

(2) 임펄스잡음의 영향

$$P_e = \frac{3}{2} e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho_a}/\sqrt{10} \sigma_j) \quad (21)$$

$\rho_a = 5d^2/4W$: 평균신호대 잡음 전력비

$$PE = P_e - \frac{1}{4} P_e^2$$

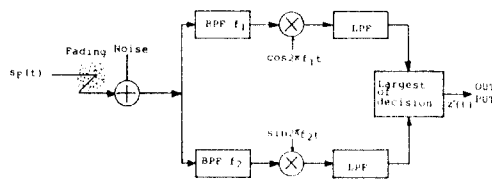


그림 7. FSK 수신기의 해석모델
Analysis model of FSK receiver.

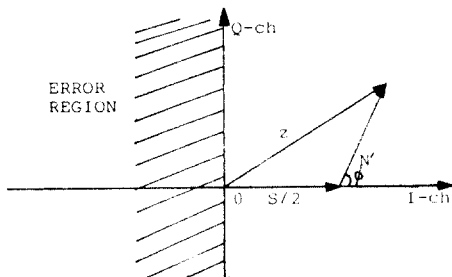


그림 8. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of composite signal.

3.3 FSK

(1) 가우스 잡음만의 영향

최종 판별과정을 거친 신호는

$$z'(t) = Z_1(t) - Z_2(t)$$

$$= \frac{S}{2} + N' \cos \phi$$

$N \cos \phi$ 의 전력은 N 이다.

그림 9.에서 여러영역에 들어갈 확률이 오율이 된다.

$$P_0 = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho_a}/\sqrt{2}) \quad (22)$$

$$\rho = \frac{S^2}{2\sigma^2}$$

(2) 가우스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{\rho_a}{2\pi W}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\rho_a}{2m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\approx F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\rho_a}{2m+\rho_a}\right) \quad (23)$$

$$\rho_a = \frac{S^2}{2\sigma^2}$$

(3) 임펄스 잡음만의 영향

$$P_0 = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho_a}/\sqrt{2} \sigma_j) \quad (24)$$

$$\rho = \frac{S^2}{2W}$$

(4) 임펄스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left[1 - 2 \sqrt{\frac{\rho_a}{2\pi W \sigma_j^2}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\rho_a}{2m \sigma_j^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \right]$$

$$\approx F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\rho_a}{2m \sigma_j^2 + \rho_a}\right) \quad (25)$$

$$\rho_a = \frac{S^2}{2W}$$

3.4 MSK

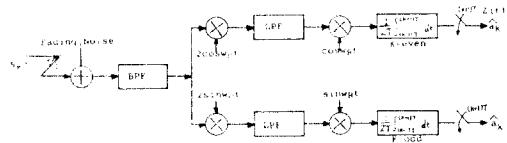


그림 9. MSK수신기의 해석모델
Analysis model of MSK receiver.

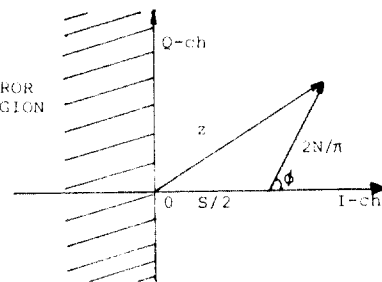


그림 10. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of composite signal.

(1) 가우스 잡음만의 영향

최종 출력신호는

$$r(t) = \frac{S}{2} a_k + \frac{2}{\sqrt{\pi}} N \cos \phi$$

$a_k = 1$ 일때 등확률이므로

$$P_0 = \operatorname{Prob}\left(\frac{S}{2} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} N \cos \phi < 0\right)$$

$$= \operatorname{Prob}\left(N \cos \phi < -\frac{\sqrt{\pi} S}{4}\right)$$

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\rho} \pi / 4) \quad (26)$$

$$\rho = S^2 / 2\sigma^2$$

(2) 가우스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = \frac{1}{2} - \sqrt{\frac{\rho_0 \pi}{16m}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\rho_0 \pi^2}{16m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\rho_0 \pi^2}{16m+\rho_0 \pi^2}\right)$$

$$\rho_0 = S^2 / 2\sigma^2 \quad (27)$$

(3) 임펄스 잡음만의 영향

$$P_e = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc}(\pi \sqrt{\rho} / 4\sigma_j) \quad (28)$$

$$\rho = S^2 / 4W$$

(4) 임펄스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = \frac{e^{-A}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left[1 - \sqrt{\frac{\pi \rho_0}{4m\sigma_j^2}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\pi^2 \rho_0}{16m\sigma_j^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \right]$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\pi^2 \rho_0}{16m\sigma_j^2 + \pi^2 \rho_0}\right) \quad (29)$$

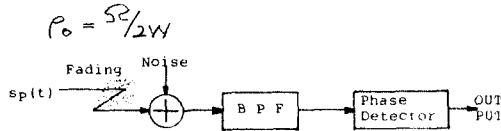


그림 11. PSK수신기의 해석모델
Analysis model of PSK receiver.

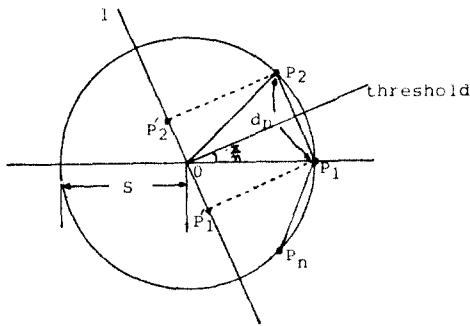


그림 12. n상 PSK신호점의 신호 공간상 표현
Representation of n-ary PSK signal space.

3.5 PSK

(1) 가우스 잡음만의 영향

그림 12.에서 최소 부호점간의 거리 d_n 은

$$d_n = 2S \sin \frac{\pi}{n}$$

잡음에 의한 한쪽 방향으로의 최소 부호점간의 부호오율은

$$P_{e0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\rho} \cdot S \sin \frac{\pi}{n}\right)$$

$$\rho = S^2 / 2\sigma^2$$

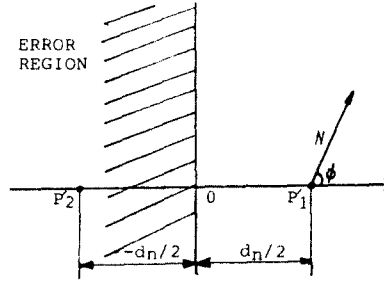


그림 13. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of composite signal.

부호점이 양쪽에 있으므로 최종부호 오율은

$$P_e = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\rho} \cdot S \sin \frac{\pi}{n}\right) \quad (m \geq 2) \quad (30)$$

(2) 가우스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = 1 - \sqrt{\frac{4\rho_0 S \sin^2 \frac{\pi}{n}}{\pi m}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}{m}\right)^{-(m+\frac{1}{2})}$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}{m + \rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}\right) \quad (31)$$

$$\rho_0 = S^2 / 2\sigma^2$$

(3) 임펄스 잡음만의 영향

$$P_e = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\rho S m^2 \frac{\pi}{n}} / \sigma_j\right) \quad (m \geq 2)$$

$$\rho = S^2 / 2W \quad (32)$$

(4) 임펄스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left[1 - \sqrt{\frac{4\rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}{\pi m \sigma_j^2}} \frac{\Gamma(m+\frac{1}{2})}{\Gamma(m)} \left(1 + \frac{\rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}{m \sigma_j^2}\right)^{-(m+\frac{1}{2})} \right]$$

$$\cdot {}_2F_1\left(1, m+\frac{1}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}{m \sigma_j^2 + \rho_0 S m^2 \frac{\pi}{n}}\right) \quad (33)$$

$$\rho_0 = S^2 / 2W$$

3.6 DPSK

(1) 가우스 잡음만의 영향

BPF출력 $e_1(t)$ 와 $e_2(t)$ 는

$$e_1(t) = (S+n_{11}(t)) \cos \omega_c t - \eta_1(t) \sin \omega_c t$$

$$e_2(t) = (S+n_{12}(t)) \cos \omega_c t - \eta_2(t) \sin \omega_c t$$

식 (38)을 포락치와 위상으로 표현하면

$$e_1(t) = R_1(t) \cos(\omega_c t + \theta_1(t))$$

$$e_2(t) = R_2(t) \cos(\omega_c t + \theta_2(t))$$

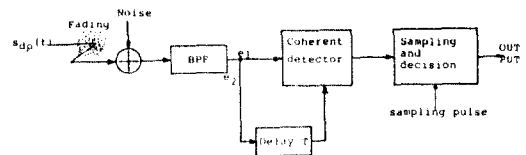


그림 14. DPSK수신기의 해석모델
Analysis model of DPSK receiver.

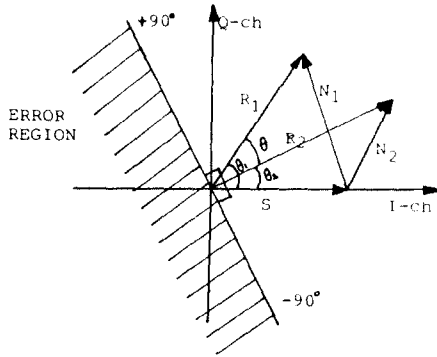


그림 15. 합성신호의 페이저도
Phasor diagram of composite signal.

식 (39)는 동기검파기 입력이고, 샘플링 순간의 검파기 출력은

$$V_s = R_1 R_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \\ = X_1 X_2 + Y_1 Y_2$$

$e_1(t), e_2(t)$ 가 같은 위상의 신호라면 $\cos(\theta_1 - \theta_2)$ 가 $\pm 90^\circ$ 밖으로 나갈때 에러가 발생한다. 오율은

$$P_e = \frac{1}{2} \exp(-\rho) \quad (34) \\ \rho = S^2 / 2\sigma^2$$

(2) 가우스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = 2 \left(1 + \frac{\rho_0}{m}\right)^{-m} \quad (35) \\ \rho_0 = S^2 / 2\sigma^2$$

(3) 임펄스 잡음만의 영향

$$P_e = \frac{e^{-\rho}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \exp(-\rho / \theta_j^2) \quad (36) \\ \rho = S^2 / 2W$$

(4) 임펄스 잡음과 페이딩의 영향

$$P_{ef} = \frac{e^{-\rho}}{2} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \left(1 + \frac{\rho_0}{m\theta_j^2}\right)^{-m} \quad (37) \\ \rho_0 = S^2 / 2W$$

4. 수치 계산 및 결론

오율식에 대한 수치계산 결과를 반송파대 잡음 전력비 (CNR)와 페이딩 지수 (m)를 변화시키며 그림 1.~그림 4.에 나타내었다.

그림 1.은 가우스 잡음만의 영향으로, CNR이 증가하면 오율은 쉽게 개선된다.

그림 2.는 임펄스 잡음만의 영향으로, CNR이 증가하여도 오율은 쉽게 개선되지 않는다.

따라서 낮은 CNR에서는 가우스 잡음에 의해 에러가 발생하고 높은 CNR에서는 임펄스 잡음에 의해 에러가 발생한다. 잡음만의 환경하에서는 BDPCK시스템이 가장 양호한 성능을 보인다.

그림 3., 4.는 잡음 환경하에 신호가 페이딩을 받는 경우로서 페이딩이 강할경우 (m=1, 레일리 페이딩)에는 QPSK신호가 가장 열화되고, BDPCK는 잡음만의 경우일 때와 비교하여 페이딩의 영향을 가장 많이 받는다.

CNR이 높은 곳에서는 가우스 잡음의 오율이 임펄스 잡음에 의한 오율 보다 열화되어있다. 페이딩의 세기가 약한 경우에는 가우스 잡음의 영향은 크게 줄어드는 반면 임펄스 잡음의 영향은 그다지 개선되지 않는다.

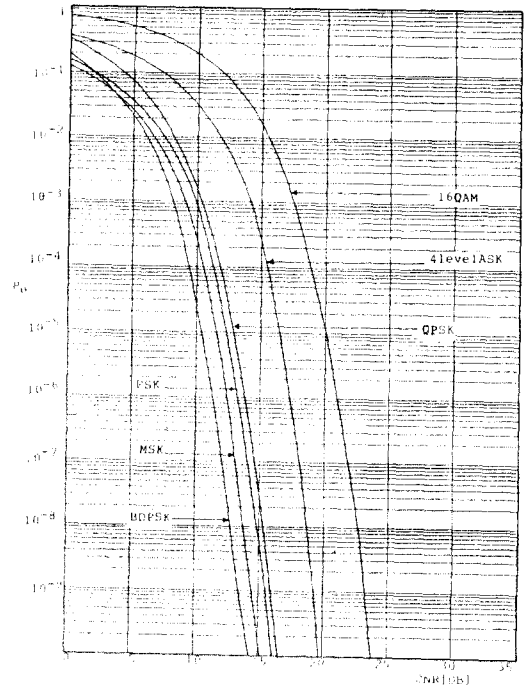


그림 16. 가우스성 잡음 환경하에서 각 디지털 변조신호의 오율

Error rate of digital modulation signals in the environment of Gaussian noise.

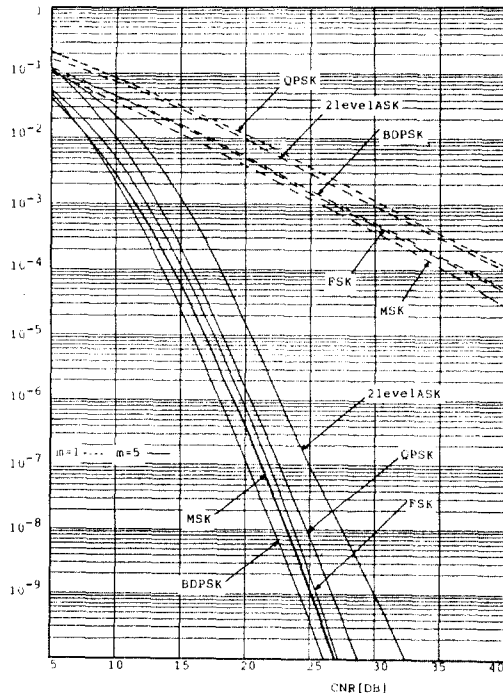


그림17. 페이딩 채널상에서 가우시성 잡음의 영향을 받는 각디지털 변조신호의 오류
Error rate of digital modulation signals in the environment of Gaussian noise and fading.

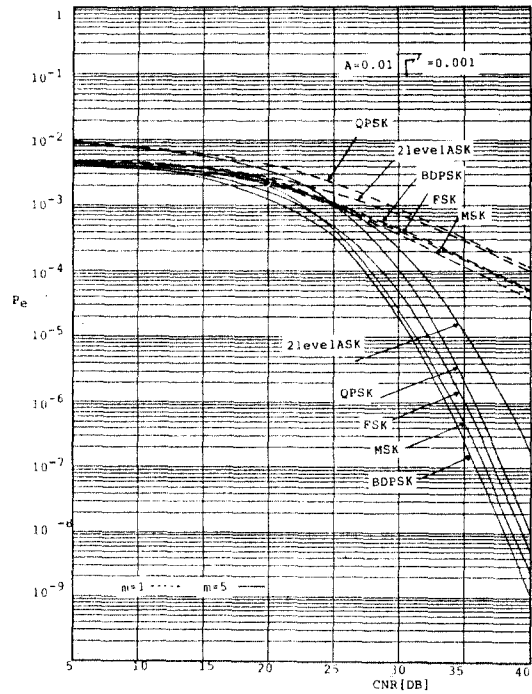


그림19. 페이딩 채널상에서 임펄스성 잡음의 영향을 받는 각디지털 변조신호의 오류
Error rate of digital modulation signals in the environment of Impulsive noise and fading.

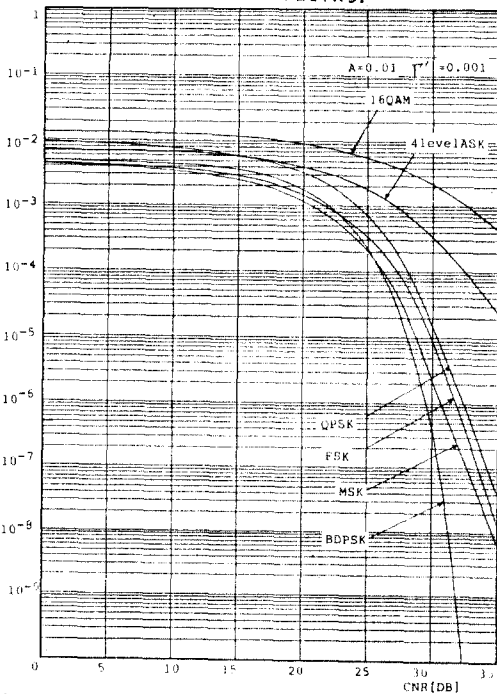


그림18. 임펄스성 잡음 환경하에서 각 디지털 변조신호의 오류
Error rate of digital modulation signals in the environment of Impulsive noise.

참 고 문 헌

- [1] M.Nakagami, "The m-distribution - A general formular of intensity distribution of rapid fading," in Stastical Methods in Radio Wave Propagation, W.C. Hoffman Ed., New York: persamon press, 1960.
- [2] D.Middleton, "Statistical - Physical models of electromaenatic interference," IEEE Trans. Electromas. Compat., vol. EMC-13, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.
- [3] H. Schwartz, W. r. Bennett, and S. Stein, Communication systems and techniques, New York: McGraw-Hill, 1966.
- [4] K. Feher, R. P. Tetarenko, P. Harkamann, and U. K. Prabhu, "Digital communication by radio," IEEE Trans. Commun., vol. COM-27, no. 2, Dec. 1977.
- [5] John D. Oettina, "A comparison of modulation techniques for digital radio," IEEE Trans. Commun., vol. COM-27, no. 12, pp. 1752-1762, Dec. 1979.
- [6] A. B. Carlson, Communication systems, New York: McGraw Hill, 1975.
- [7] 조성준, 공병욱, "임펄스성 잡음," 무선 계오, pp. 33-38, 1993년 9월, 한국무선 종사자협회