

부분 대역 재밍 신호하에서 부호화된 FH /BFSK
통신 시스템의 성능

正會員 朴 尚 奎*

Coded Performance of FH /BFSK Communication
Systems with Partial Band Jamming

Sang Kyu Park* *Regular Member*

要 約

본 논문은 최악의 재밍 신호하에서의 주파수 도약 BFSK 통신 시스템의 성능 분석에 관한 연구이다. 채널은 ratio-threshold 기법을 이용하여 모델링 하였으며 재밍 신호로는 톤 재밍과 가우시안 재밍을 이용하였다. 성능 분석은 채널 용량, 즉 최대 부호율과 비트 신호대 재머 전력 비를 이용하여 분석 하였다. 그 결과 배경 잡음 전력이 커질수록 성능의 감소가 현저해지며 채널의 상태를 추정할 수 있는 θ 값이 약 1.5일 때가 가장 성능이 좋았다.

ABSTRACT

This paper shows the performance of FH /BFSK communication systems under worst-case jamming interference. The channel is modeled with ratio-threshold technique, and as a jamming signal the tone jamming and Gaussian jamming are used.

The performance is analyzed by using the channel capacity which is the maximum code rate and bit signal-to-jammer ratio, and we show that the performance degraation becomes large as background noise is big and obtain the best performance when the threshold level θ is about 1.5.

I. 서 론

통신 시스템의 성능 저하를 목적으로 하는 의도적인 방해 신호를 재밍신호라고 하며 재밍 신호의 영향

을 감소 시키기 위한 방법으로 확산 대역(spread spectrum) 통신 방법이 있다. 이 방법은 지난 수십년 동안 외부 통신자가 신호를 검출하고 방해하기가 어려워 주로 군용에서 사용되어 왔으며 최근에는 상용으로 부호분할 다원접속을 위한 통신에도 적극 이용되고 있다^(1,2).

확산 대역 통신 방법은 정보신호의 주파수 대역폭

*漢陽大學校 電子通信工學科
Dept. of Electronic Communication Engin.
Hanyang University
論文番號 : 92-84 (接受1992. 2. 25)

보다 더 넓은 대역폭을 이용하여 통신하는 방식으로 대표적인 것으로 직접확산(direct sequence : DS), 주파수 도약(frequency hopping : FH) 방식이 있으며 이 중 DS 방식은 고유부호를 이용하여 신호 레벨을 잡음신호와 같이 낮게 만들어 주파수 대역을 확산시키는 방식이다. FH 방식은 반송 주파수를 일정 시간마다 변화시켜 전송 신호의 주파수 대역을 넓혀주는 방식으로 재밍 신호에 강한 특성을 가지고 있다^(1, 2).

재밍 신호하의 통신 시스템은 통신자와 재머간에 게임을 하는 것과 같은 것으로서 재머는 시스템 성능을 가장 나쁘게 하려고 하고 통신자는 재머의 영향을 최소화하여 양질의 통신이 가능하게 하려고 한다. 재머는 이용 가능한 방해 전력을 최대한 활용하며 통신자는 최악의 상태를 고려하여 최적 전략을 세운다.

확산 대역 통신 방식에서는 재머가 통신을 방해하기 위해서는 넓은 주파수 대역에 전력을 공급하여야 하며 전체 주파수 대역에 방해 신호의 전력을 고루 공급하는 것 보다는 부분 대역을 집중적으로 방해함으로써 효과적으로 통신 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다⁽³⁾.

Ratio-threshold⁽⁴⁾ 기법은 신호 검출시 연관정(soft decision)을 하여 통신자에게 부가 정보를 제공해주는 것으로 채널의 상태를 추정하는데 사용할 수 있다. 즉, 재밍 신호가 있다고 검출이 되면 수신 신호를 믿을 수 없는 것으로 하여 소거시킨다. 기존의 경판정(hard decision) 기법과 비교할 때 연관정 기법은 전송 에너지를 절약하여 시스템의 성능을 향상시킨다.

본 논문에서는 ratio-threshold 기법을 재밍 신호 존재시 비동기 주파수 도약 BFSK 시스템에 적용하여 임계치(threshold)의 값에 따라 변하는 정보신호의 검출 영역을 구하고 배경잡음에 대한 영향과 최적 임계치를 구하였다.

재머의 평균 전력이 제한되어 있을 때 재밍 전략을 톤 재밍과 가우시안 재밍으로 구분하여 배경잡음의 크기에 따라 변하는 각각의 성능을 분석 비교하며 재머가 취할 수 있는 최적 전략을 알아보고 성능은 채널용량, 즉 최대 부호율을 이용하여 비트 신호대 재머 전력비를 측정하였다.

II. 재밍 신호 모델

재밍 신호는 톤 재밍 신호와 가우시안 재밍 신호로

분류하며 통신시 사용한 변조 방식은 BFSK로서 직교(orthogonal)하는 두개의 신호가 있게 되며 이 두개의 신호를 벡터적으로 표현하면 두개의 차원(dimension)을 갖게 된다. 그러므로 재밍 신호가 한쪽 차원에 있게 되는 경우를 1차원 재밍, 재밍 신호가 양쪽 차원에 모두 있게되는 경우를 2차원 재밍이라고 하며, 본 논문에서는 한쪽차원에 모든 재머의 전력을 집중시키는 톤 재밍과 양쪽 차원에 재머 전력이 공급되는 가우시안 재밍을 고려한다.

그림 1은 BFSK 수신기 모델이며 수신 신호 $r(t)$ 는 식(1)과 같다.

$$r(t) = S_i(t) + J(t) + N(t) \quad (1)$$

여기서 $S_i(t)$ 는 역 확산된 정보 신호로 +1의 신호를 $S_1(t)$, -1의 신호를 $S_2(t)$ 라 하며 각각 1/2의 확률을 갖는다. $J(t)$ 는 재밍 신호로서 톤 재밍과 가우시안 재밍으로 분류하며 $N(t)$ 는 가산 백색 가우시안 잡음이며 전력밀도 함수가 $N_0/2$ 인 배경 잡음이다.

2.1. 톤 재밍

톤 재밍 신호의 경우 BFSK 신호의 2개의 톤중 하나에 집중하는 1차원 재밍전략이 되며 전체 채널 주파수 대역 W_{ss} 에서 재밍 신호톤이 점유하는 주파수 대역을 그림 2에 나타내었다. 이때 전체 주파수 대역과 재밍 신호등이 점유하는 대역과의 비를 ρ 라고 하며 이 범위는 $0 \leq \rho \leq 1$ 이다.

정보신호 $S_i(t)$ 와 재밍신호 $J(t) = J_1(t)$ 는 식 (2)와 식 (3)으로 표현된다.

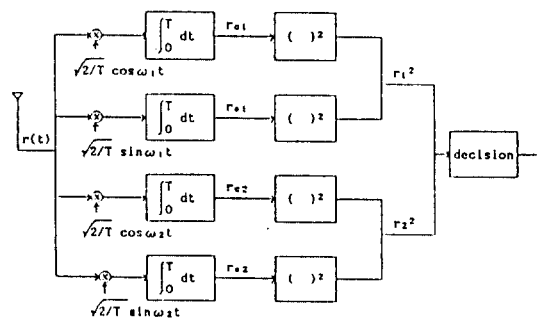


그림. 1 BFSK 수신기
Fig. 1 BFSK receiver

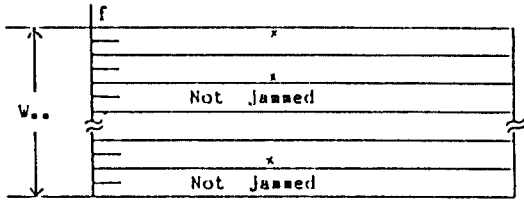


그림. 2 톤재밍 신호의 주파수 분포
Fig. 2 Frequency occupancy of tone jamming signal

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cos(\omega_i t + \beta_i), \quad i=1,2 \quad (2)$$

$$J_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2N_{JP}}{T}} \cos(\omega_i t + \phi_i), & i=1,2, \text{ 확률 } \rho \\ 0, & \text{확률 } 1-\rho \end{cases} \quad (3)$$

여기서 E_c 는 신호의 에너지, β_i 와 ϕ_i 는 랜덤위상, N_{JP} 는 N_J 를 재머의 평균 전력 밀도라 할때 $N_{JP} = N_J / \rho$ 로 표시되는 재머의 순간 최대 전력 밀도이다. 수신 신호는 정보 신호, 재밍 신호, 그리고 잡음의 합으로 표현되며 정보 신호의 톤 주파수와 재밍 신호의 톤 주파수가 같으면 재머의 영향이 없고 두 주파수의 신호가 서로 다를 때 재머의 영향을 받게 된다.

정보 신호가 $S_i(t)$ 이고 재밍 신호가 $J_i(t)$ 이면 수신 신호는 식 (4)가 된다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cos(\omega_1 t + \beta_1) + \sqrt{\frac{2N_{JP}}{T}} \cos(\omega_1 t + \phi_1) + N(t) \quad (4)$$

식 (4)의 $r(t)$ 가 그림 1의 수신기를 통과하여 나온 출력 r_1 과 r_2 는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} r_1 &= \{(\sqrt{E_c} \cdot \cos\beta_1 + \sqrt{N_{JP}} \cdot \cos\phi_1 + n_{c1})^2 + \\ &(-\sqrt{E_c} \cdot \sin\beta_1 - \sqrt{N_{JP}} \cdot \sin\phi_1 + n_{s1})^2\}^{1/2} \\ r_2 &= \{(n_{c2})^2 + (n_{s2})^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 n_{c1} , n_{s1} , n_{c2} , n_{s2} 는 모두 평균이 0이고 분산이 $N_0/2$ 인 가우시안 랜덤 변수이다.

r_1 과 r_2 를 이용하여 수신 신호의 오류확률과 옳게

검출할 확률을 구하기 위해 r_1 과 r_2 의 확률 밀도 함수를 구하면 식 (6)이 된다.⁽⁵⁾

$$P(r_1) = \frac{r_1}{N_0/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{N_0} \cdot [r_1^2 + E_c + N_{JP} + 2 \sqrt{E_c \cdot N_{JP}} \cdot \cos(\beta_1 - \phi_1)] \right\} \cdot I_0 \left[\frac{r_1(E_c + N_{JP}) + 2 \sqrt{E_c \cdot N_{JP}} \cdot \cos(\beta_1 - \phi_1)}{N_0/2} \right]^{1/2}$$

$$P(r_2) = \frac{r_2}{N_0/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{r_2^2}{N_0} \right\} \quad (6)$$

식 (6)에서 $I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(x \cdot \cos t) dt$ 로 서 zero order modified Bessel function of first kind이다.

재밍신호가 $J_2(t)$ 인 경우에 수신신호 $r(t)$ 는 식(7)이 된다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cdot \cos(\omega_1 t + \beta_1) + \sqrt{\frac{2N_{JP}}{T}} \cdot \cos(\omega_2 t + \phi_2) + N(t) \quad (7)$$

이 경우 J_2 재밍 신호에 대하여 r_1 , r_2 의 확률 밀도 함수를 구하면 식 (8)이 된다.

$$p(r_1) = \frac{r_1}{N_0/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{r_1^2 + E_c}{N_0} \right\} \cdot I_0 \left\{ \frac{r_1 + \sqrt{E_0}}{N_0/2} \right\} \quad (8)$$

$$p(r_2) = \frac{r_2}{N_0/2} \cdot \exp \left\{ -\frac{r_2^2 + N_{JP}}{N_0} \right\} \cdot I_0 \left\{ \frac{r_2 + \sqrt{N_{JP}}}{N_0/2} \right\}$$

2.2. 가우시안 재밍

그림 3은 전체 주파수 대역에서 부분 대역 재밍 신호가 존재하는 주파수 대역과의 관계를 나타낸 것이다. 이때 전체 주파수 대역 W_{ss} 와 재밍 신호가 존재하는 주파수 대역 W_J 의 비 ρ 는 $\rho = W_J / W_{ss}$ 이다. 그림 3에서 $N_J/2$ 는 평균 전력 밀도이고 $N_J/2\rho$ 는 부분 대역 재밍의 순간 최대 전력 밀도이다.

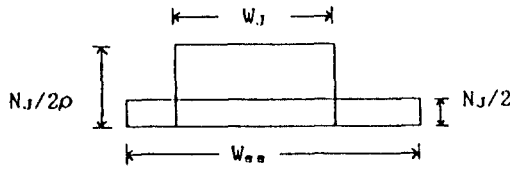


그림. 3 부분대역 가우시안 재밍 신호의 주파수 분포
Fig. 3 Frequency occupancy of partial band Gaussian jamming signal

가우시안 재밍에서 정보 신호는 식 (9)와 같다.

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cdot \cos(\omega_i t + \beta_i), \quad i=1,2 \quad (9)$$

정보 신호가 \$S_i(t)\$이면 수신 신호 \$r(t)\$는 식 (10)이 된다.

$$r(t) = \sqrt{\frac{2E_c}{T}} \cdot \cos(\omega_i t + \beta_i) + J(t) + N(t) \quad (10)$$

여기서 가우시안 재밍 신호 \$J(t)\$와 배경 잡음 \$N(t)\$는 서로 독립이며 두 신호가 모두 존재할 때 평균은 0이고 분산은 \$N_j/2\rho + N_0/2\$가 된다. 그러므로 수신기의 출력 \$r_1\$과 \$r_2\$의 확률 밀도 함수는 식 (11), (12)와 같다.

$$p(r_1) = \frac{r_1}{N_j/2\rho + N_0/2} \cdot \exp\left\{-\frac{r_1^2 + E_c}{N_j/\rho + N_0}\right\} \cdot I_0\left\{\frac{r_1\sqrt{E_c}}{N_j/2\rho + N_0/2}\right\} \quad (11)$$

$$p(r_2) = \frac{r_2}{N_0/2\rho + N_0/2} \cdot \exp\left\{-\frac{r_2^2}{N_j/\rho + N_0}\right\} \quad (12)$$

III. 신호 검출 영역 및 채널 용량

그림 4와 5는 ratio threshold 기법을 이용할 때 수신 신호의 검출 영역과 채널 모델을 나타내고 있다. 이때 임계치(threshold) \$\theta\$는 통신자가 갖고 있는 변수로 1 이상이며 채널 모델은 천이 확률, 즉 옳게 검출할 확률과 오류가 발생할 확률에 채널 상태가 나쁘다고 생각될 때 수신 신호를 소거(erasure)시키는 소거 확률이 포함된 형태이다.

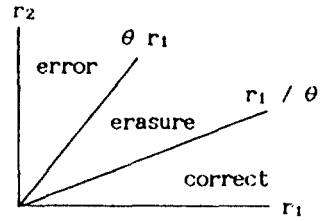


그림. 4 송신 신호가 \$S_i(t)\$ 일때 수신 신호의 검출영역
Fig. 4 Decision region when \$S_i(t)\$ was sent

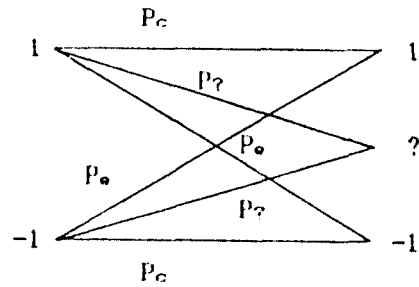


그림. 5 이원 오류 및 소거 채널
Fig. 5 Binary error and erasure channel

채널 용량은 상호 정보, \$I(X; Y)\$,의 함수로 나타내어지고 그림 5는 대칭 채널이므로 채널 용량 \$C\$는 입력 신호의 분포함수 \$P(x)\$가 균등할 때 최대가 된다.⁽¹⁶⁾

$$C = \max_{p(x)} I(X; Y) \quad (13)$$

$$I(X; Y) = H(X) - H(X|Y) \quad : \text{상호정보} \quad (14)$$

$$H(X) = -\sum P_i \cdot \log_2 P_i \quad : \text{엔트로피} \quad (15)$$

$$H(X|Y) = -\sum_{x,y} p(x,y) \log_2 p(x|y) \quad : \text{조건부 엔트로피} \quad (16)$$

그러므로 그림 5의 채널 용량은 식 (17)이 된다.

$$C = 1 - H(X|Y) = P_e \cdot \log_2 P_e + (P_c + P_\gamma) \cdot \log_2 (P_c + P_\gamma) \quad (17)$$

여기서 \$P_e\$는 옳게 검출할 확률, \$P_c\$는 오류확률을 나타낸다.

그림 5에서 1차원 톤 재밍하에서의 오류확률 \$P_e\$는 식 (18)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_e &= P_r(\text{error}|+1) \\
 &= P_r(\text{error}|+1, \text{jam}) \cdot P_r(\text{jam}) + P_r(\text{error}|+1, \text{no jam}) \cdot p_r(\text{no jam}) \\
 &= 1/2 \cdot P_r(\text{error}|+1, J_1) \cdot \rho + 1/2 \cdot P_r(\text{error}|+1, J_2) \cdot \rho \\
 &\quad + P_r(\text{error}|+1, \text{no jam}) \cdot (1-\rho) \quad (18)
 \end{aligned}$$

식 (18)에서 톤 재밍과 가우시안 재밍의 경우 재머 전력을 나타내는 J_1 과 J_2 는 같고 차원을 나타내는 주파수는 서로 다르다. 식 (19)의 채널 용량을 구하기 위해 그림 5에 보인 P_e , P_c , P_e 를 구한다.

톤 재밍

그림 4를 이용하여 식 (18)에 있는 조건부 오류확률을 구하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_r(\text{error}|+1, J_1) &= P(r_2 > \theta r_1 | +1, J_1) \\
 &= \int_0^\infty p(r_1) \int_{\theta r_1}^\infty p(r_2) dr_2 dr_1 \quad (19)
 \end{aligned}$$

식 (19)에 식 (6)에서 구한 밀도함수 $p(r_1)$, $p(r_2)$ 를 대입하여 정리 하면 식 (19)는 식 (20)이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_{e1} &= P_r(r_2 > \theta r_1 | +1, J_1) \\
 &= Q \left[0, \frac{\theta \cdot \sqrt{E_c + N_{JP} + 2\sqrt{E_c \cdot N_{JP}} \cos(\beta_1 - \phi_1)}}{\sqrt{\theta^2 + 1} \cdot \sqrt{N_0/2}} \right] \\
 &\quad - \frac{\theta^2}{\theta^2 + 1} \cdot \exp \left[-\frac{\theta^2 (E_c + N_{JP} + \sqrt{2E_c \cdot N_{JP}} \cdot \cos(\beta_1 - \phi_1))}{(\theta^2 + 1) N_0} \right] \quad (20)
 \end{aligned}$$

식 (20)에서 $Q(\cdot, \cdot)$ 는 generalized Marcum's Q-fucntion으로

$$\begin{aligned}
 Q(a, \beta) &= \int_\beta^\infty x \cdot \exp \left\{ -\frac{x^2 + a}{2} \right\} \cdot I_0(ax) dx \\
 &\text{이다.}^{(7)}
 \end{aligned}$$

재밍 신호가 $J_2(t)$ 일때 식 (8)에서 구한 r_1 과 r_2 의 밀도 함수를 이용하여 같은 방법으로 구하면 조건부 오류확률은 식 (21)이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_{e2} &= P_r(r_2 > \theta r_1 | +1, J_2) \\
 &= Q \left[\frac{\sqrt{N_{JP}}}{\sqrt{\theta^2 + 1} \cdot \sqrt{N_0/2}}, \frac{\theta \sqrt{E_c}}{\sqrt{\theta^2 + 1} \cdot \sqrt{N_0/2}} \right] \\
 &\quad - \frac{\theta^2}{\theta^2 + 1} \cdot \exp \left\{ -\frac{\theta^2 E_c + N_{JP}}{(\theta^2 + 1) N_0} \right\} \\
 &\quad \cdot I_0 \left[\frac{\theta \sqrt{E_c N_{JP}}}{(\theta^2 + 1) (N_0/2)} \right] \quad (21)
 \end{aligned}$$

그러므로 식 (18)의 오류확률은 식 (20)과 식 (21)을 이용하여 식 (22)가 된다.

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{\rho}{2} \cdot P_{e1} + \frac{\rho}{2} \cdot P_{e2} + \frac{(1-\rho)}{\theta^2 + 1} \cdot \exp \left\{ -\frac{\theta^2 N_{JP}}{(\theta^2 + 1) \cdot N_0} \right\} \quad (22)
 \end{aligned}$$

올게 검출할 확률 P_c 도 같은 방법으로 구하면 식 (23)이 된다.

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\rho}{2} \left[1 - Q \left[0, \frac{\sqrt{E_c + N_{JP} + 2\sqrt{E_c N_{JP}} \cos(\beta - \phi_1)}}{\sqrt{\theta^2 + (N_0/2)}} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{N_0}{2\theta^2 + N_0} \exp \left\{ -\frac{E_c + N_{JP} + 2\sqrt{E_c N_{JP}} \cos(\beta - \phi_1)}{(2\theta^2 + (N_0/2))} \right\} \right] \\
 &\quad + \frac{\rho}{2} \left[1 - Q \left[\frac{\theta \sqrt{N_{JP}}}{\sqrt{\theta^2 + (N_0/2)} \cdot \sqrt{N_0/2}}, \frac{\sqrt{E_c}}{\sqrt{\theta^2 + N_0/2}} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \frac{N_0}{2\theta^2 + N_0} \cdot \exp \left\{ -\frac{E_c N_0 + 2\theta^2 N_{JP}}{(2\theta^2 + N_0) N_0} \right\} \right. \\
 &\quad \left. \cdot I_0 \left[\frac{\theta \cdot \sqrt{E_c N_{JP}}}{(\theta^2 + (N_0/2)) \sqrt{N_0/2}} \right] \right] \\
 &\quad + \left[1 - \frac{\theta^2}{\theta^2 + 1} \cdot \exp \left\{ -\frac{N_{JP}}{(\theta + 1) N_0} \right\} \right] \\
 &\quad \cdot (1-\rho) \quad (23)
 \end{aligned}$$

또한 소거확률 $P_e = 1 - P_c - P_e$ 이다.

가우시안 재밍

식 (11), (12)를 이용하여 P_e , P_c 를 구하면 식 (24), (25)가 된다.

$$P_e = \frac{\rho}{\theta^2 + 1} \exp \left[-\frac{\theta^2 E_c}{(\theta^2 + 1)(N_0 + (N_I/\rho))} \right] + \frac{1 - \rho}{\theta^2 + 1} \exp \left[-\frac{\theta^2 E_c}{(\theta^2 + 1)N} \right] \quad (24)$$

$$P_c = \left[1 - \frac{\theta^2}{\theta^2 + 1} \right] \exp \left[-\frac{E_c}{(\theta^2 + 1)(N_0 + (N_I/\rho))} \right] \cdot \rho + \left[1 - \frac{\theta^2}{\theta^2 + 1} \exp \left[-\frac{E_c}{(\theta^2 + 1)N_0} \right] \right] \cdot (1 - \rho) \quad (25)$$

IV. 최악의 상태에서의 시스템 성능 및 고찰

재머의 목적은 통신 시스템의 성능을 저하시키는 것이므로 식 (17)에 보인 채널 용량 C가 최소가 되게 하는 것이 재머의 최적 전략이 된다. 채널 용량은 통신자의 시스템 성능 향상을 위한 변수인 θ 와 재머의 주파수 대역 점유율 ρ 그리고 신호대 재머 전력비 E_c/N_I 와 신호대 배경 잡음비 E_c/N_0 의 함수로 나타내어지며 부분 대역 재머에 대한 최소 채널 용량은 식 (26)과 같다.

$$C = \min_{\rho} C(\theta, \rho, E_c/N_I, E_c/N_0) \quad (26)$$

Shannon의 부호와 정리⁽⁸⁾에 의하면 신뢰성 있는 통신을 하기 위해서는 부호율(code rate) R_c 가 채널 용량 C보다 작아야 한다. 따라서 신뢰성 있는 통신을 위한 관계식은 식 (27)과 같다.

$$R_c \leq C \text{ 또는 } R_c \leq C(E_c/N_I) \quad (27)$$

식 (27)에서 채널 용량 C는 E_c/N_I 에 따라 값이 변하

므로 C를 E_c/N_I 의 함수로 표시할 수 있다. 여기서 E_c 정보 신호의 심볼 에너지이고 R_c 는 부호율이므로 정보 신호의 비트 에너지는 $E_b = E_c/R_c$ 이다. 그러므로 신호의 비트 에너지 대 재머의 전력 밀도 비는 다음과 같이 된다.

$$E_b/N_I = (E_c/N_I)/R_c \quad (28)$$

식 (28)을 이용하여 부호율과 E_b/N_I 와의 관계를 나타내면 식 (27)은 식 (29)가 된다.

$$\frac{E_b}{N_I} \geq \frac{C^{-1}(R_c)}{R_c} \quad (29)$$

여기서 $C^{-1}(R_c)$ 는 $C(E_c/N_I)$ 의 역함수를 나타낸다. 식 (29)의 부등호 오른쪽은 신뢰성 있는 통신을 위한 최소 비트 에너지 대 재머의 비를 나타내며 이 관계는 그림 6,7,8,9에 보여지고 있다.

그림 6과 7의 톤재밍 신호에서 부호율이 0.6인 경우 배경잡음의 영향은 $\theta=1.5$ 일때 약 0.8dB 이었으며, 배경잡음이 무시할 수 있을만큼 작았을 때 $\theta=1.5$ 의 성능은 신호 검출시 소기영역이 없는, 즉 $\theta=1$, 시스템에 비해 약 2 dB의 성능 향상을 얻었다.

그림 7에서 전송신호대 재머 전력비가 작은 경우 θ 가 점점 커질수록 소기영역이 커져 재머 전략에 관계없이 성능의 감소는 크지않음을 보여주고 있으며, θ 가 아주 큰 값일때는 오히려 검출할 확률 P_d와 소기 확률 P_f가 각각 1/2이 되어 채널용량, 즉 최대 부호율은 0.5가 된다. 그러나 재머의 전력이 작을수록, 즉 신호대 재머 전력비가 클수록 이러한 현상은 나타나지 않으며 배경잡음이 증가함에 따라 θ 가 커지면 성능은 더욱 나빠진다.

그림 8과 9의 가우시안 재밍하에서는 θ 값이 커질수록 배경잡음의 영향이 커지며 배경잡음과 재머전력에 관계없이 θ 가 약 1.5일 때 가장 좋은 성능을 제공해 준다. 배경잡음이 작고 부호율 0.6인 경우 $\theta=1.5$ 일 때의 성능은 신호의 소기영역이 없는 $\theta=1$ 에 비해 약 1 dB 향상되었다.

그림 10은 가장 성능을 좋게 하는 θ 값에 대하여 성능을 평가한 것이며 부호율이 높은 경우에는 배경잡음에 관계없이 가우시안과 톤재밍의 영향이 거의 같으며 전송 신호대 배경잡음의 비호가 10 dB일때 낮은 부호율에서는 톤재밍의 영향이 가우시안 재밍보

다 더욱 커짐을 보여 준다.

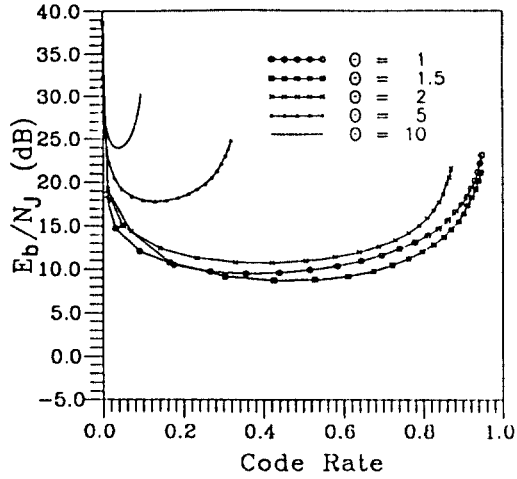


그림. 6 $E_c/N_0=10\text{dB}$ 일때 톤재밍
Fig. 6 Tone jamming at $E_c/N_0=10\text{dB}$

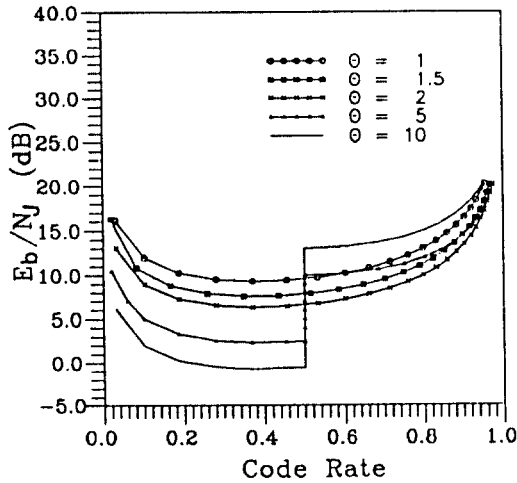


그림. 7 $E_c/N_0=\infty$ 일때 톤재밍
Fig. 7 Tone jamming at $E_c/N_0=\infty$

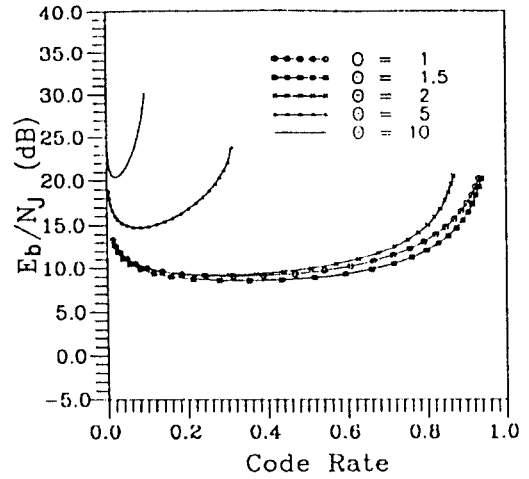


그림. 8 $E_c/N_0=10\text{dB}$ 일때 가우시안 재밍
Fig. 8 Gaussian jamming at $E_c/N_0=10\text{dB}$

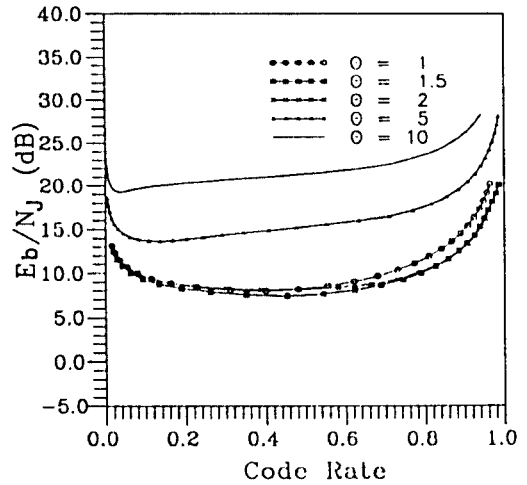


그림. 9 $E_c/N_0=\infty$ 일때 가우시안 재밍
Fig. 9 Gaussian jamming at $E_c/N_0=\infty$

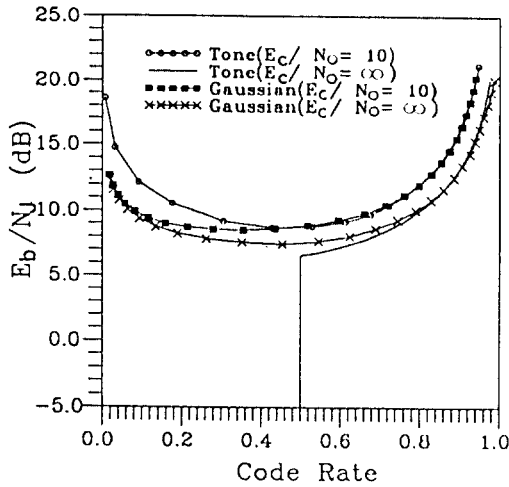


그림. 10 가장 좋은 θ 를 이용한 시스템 성능
($E_c/N_0=10\text{dB}$ 와 $E_c/N_0=\infty$ 일때 비교)
Fig. 10 System performance with best θ
(Comparison at $E_c/N_0=10\text{ dB}$ and $E_c/N_0=\infty$)

V. 결 론

본 논문에서는 재밍신호 존재시 도약 주파수를 이용한 BFSK 시스템의 성능을 분석하였다. 배경잡음이 아주적고 톤재밍의 영향을 받을 때 수신기에서 소기시키는 신호의 검출영역을 아주 크게하면 부호율을 0.5이상으로 유지할 수 있었으며 배경잡음의 영향이 있을때는 신호의 비트에너지의 증가에 따라 부호율이 달라진다.

톤재밍과 가우시안 재밍 존재시 신호의 소기를 위한 θ 값은 두 경우 다 약 1.5일때가 가장 좋은 성능을 제공하였으며 배경 잡음이 있고 재머의 전력이 작을 때는 톤재밍이 가우시안 재밍보다 더 큰 성능의 감소를 가져왔다. 재머의 전력이 작을때는 부분대역 점유율을 적재하여 한 곳에 전력을 집중한 경우 가장 성능이 나빠진다. 이것은 전송 대역폭이 커짐에 따라 모든 대역에 골고루 방해 신호를 보내기가 힘든 것을 나타내 준다.

신호 수신시 레벨의 수를 증가시켜 여러 채널 상태로 하여 신호를 검출하면 채널용량이 증가하여 보다 나은 시스템의 향상을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

이 연구는 1988년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임. (과제번호 : 883-0801-002-2)

참 고 문 헌

1. A.J.Viterbi, "Spread Spectrum Communication-Myths and Realities", *IEEE Comm. Magazine*, pp 11-18, May 1979.
2. R.L.Pickholtz, D.L.Schilling, L.B.Milstein, "Theory of Spread Spectrum Communications-A Tutorial", *IEEE Trans. on Comm.*, pp 855-884, May 1982.
3. S.W.Houston, "Modulation Techniques for Communication, Part I : Tone and Noise Jamming Performance of Spread-Spectrum M-ary FSK and 2, 4-ary DPSK waveforms", *IEEE Nat'l Aerospace and Electronics Conf.*, pp 51-58, 1975.
4. A.J. Viterbi, "A Robust Ratio-Threshold Technique to Mitigate Tone and Partial Band Jamming in Coded MFSK Systems", *MILCOM 82 Conf.*, Record, pp 22.4-1 to 22. 4-5.
5. A.D. Whalen, *Detection of Signals in Noise.*, Academic Press, 1971
6. R.G.Gallager, *Information Theory and Reliable Communication*. John Wiley and Sons, Inc. 1971.
7. D.J.Torrieri, *Principles of Military Communication Systems*. Artech, 1981.
8. C.E.Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, pp 379-423, July 1948.



朴 尚 奎(Sang Kyu Park) 正會員
1951年 10月 21日生
1974年 2月：서울大學校 電氣工
學科 學士
1980年 5月：美國 Duke Univ.
電氣 工學科 碩士
1987年 1月：美國 Univ. of Mi-
chigan 電氣工學科 博士

1976年 7月~1978年 10月：國防科學研究所 研究員
1987年 3月~現在：漢陽大學校 電子通信工學科 助教
授 Electronic Communication Engi.