

부분주파수 충돌을 고려한 FH /SSMA

正會員 洪 仁 基* 正會員 金 根 默** 正會員 黃 金 燦*

Performance Analysis of FH /SSMA Network Considering Partial Hit

Een Kee Hong*, Keun Mook Kim,** Keum Chan Whang* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 AWGN, 협대역재밍, 페이딩, 사용자간 간섭이 혼재하는 채널에서 부호화한 FH /SSMA 시스템의 성능을 분석하였다. 특히, 주파수 충돌을 고려할때 주파수 중복이 어느값보다 적으면 정보를 정확히 수신하는 것으로 가정하였다. 분석 결과, 주파수 충돌은 주파수중복 기준에 따라 선형적으로 변화하고, 에러발생 분포유형에는 별다른 변화를 주지 못했다.

ABSTRACT

This paper aims to analyse the performance of coded frequency hopping /spread spectrum multiple access system by employing the channel with mixture of AWGN, partial band jamming, fading and user interference. In this approach, a special consideration is focused on the effect of the partial hit. That is, the interfering signals that are present for a small fraction of the hop duration did not cause hit.

The results of analysis showed that the frequency hit changed linearly according to the varying degree of frequency overlap. And this effect did not change the type of error probability distribution.

I. 서 론

최근 스펙트럼다원접속(SSMA)분야에 대한 관심이 높아가고 있다. SSMA는 주파수 도약 스펙트럼 확산 다원접속시스템(FH /SSMA)과 직접스펙트럼 확산 다원접속시스템(DS /SSMA)으로 구분되어지는

데 주파수도약확산 다원접속시스템은 도약주파수를 증가시킴으로서 스펙트럼확산이 용이하고, 포착시간(acquisition time)이 짧고, 원근문제등이 없는 통신 방식이다.

본 논문에서는 AWGN, 협대역재밍, 페이딩, 사용자간 간섭이 혼재하는 채널에서, 네트워크의 성능개선을 위하여 RS부호(reed solomon Code), 길쌈부호(convolutional Code), 쇄상부호(concatenated Code)를 도입하여, FH /SSMA시템의 성능을 분석하였다.

*延世大學校 電氣工學科
Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University
**韓國通信
Korea Telecom
論文番號 : 93 - 3 (接受 1992. 5. 26)

특히, 지금까지 대부분의 논문에서는 약간의 부분 주파수충돌 (partial hit)도 모두 주파수 충돌로 인정하였는데, 본 논문에서는 주파수 중복정도를 구분하여 주파수 중복이 일정 수준 미만일 때는 정보를 정확히 수신하는 것으로 가정하고, 그 이상일 때만 주파수 충돌이 발생하는 것으로 구분하여 분석하였다.

II. 시스템과 채널모델

FH/SSMA 시스템은 RF대역폭을 주파수 슬롯이라고 불리는 q개의 부대역폭으로 분할하여, 송신단에서 사용자마다 고유하게 부여된 주파수 도약패턴에 따라 반송 주파수를 슬롯간에서 도약시키는 시스템이다.

본 논문에서는 사용자간의 상호 간섭이 존재하며, 협대역 재밍, 무선신호의 반사 및 산란에 의한 페이딩이 존재하는 채널을 고려한다.

같은 채널을 동시에 사용하는 사용자 수를 I라 가정할 때 수신기는 원하는 하나의 신호와 도약패턴을 맞추어야 하며 동기를 이루어야 한다. 이때 나머지 I-1의 신호는 결국 사용자간의 간섭을 일으키게 된다. 지금까지 대부분의 논문에서는 다른 사용자의 간섭에 의하여 발생하는 주파수 충돌을 주파수 중복이 부분적으로 발생하여도 모두 주파수충돌이 발생하였다고 가정하여 분석하였는데 [4][5][6], 본 논문에서는 주파수 중복정도를 구분하여 주파수 중복이 일정 수준에 미만일 때는 정보를 정확히 수신하는 것으로 가정하고, 그 이상일 때만 주파수 충돌이 발생하는 것으로 구분하여 분석하였다.

또한 다중접속 대역확산 통신 채널로 많이 선택되어지는 비선택성 라이시안 페이딩(Nonselective Rician Fading) 채널로 모델링 하였을 때 [4][5], 수신된 신호는 페이딩 되지 않은 요소와 페이딩 되어서 크기가 감소되고 위상이 천이된 요소로 구성되어 있다. 이때 수신된 신호의 크기는 라이스분포를 가지며 M-ary FSK 시스템의 에러확률을 구하면 아래와 같다[1][4].

$$P_{e,M}(\eta) = \sum_{m=1}^{M-1} \left[\binom{M-1}{m} \frac{(-1)^{m+1}}{m+1+m\beta(\eta)} \exp\left[\frac{m\delta(\eta)}{M+1+m(\eta)} \right] \right]$$

여기서 $\beta(\eta) = \Lambda(\eta)/(1+\gamma^{-2})$, $\delta(\eta) = \Lambda(\eta)/(1+\gamma^2)$, $\Lambda(\eta) = E_b \log_2 M / \eta$, E_b : 수신된 신호의 비트당 에너지, η : AWGN의 스펙트럼 밀도, γ^2 : 페이딩되지 않은 신호와 페이딩된 신호크기의 기대값의 비이다.

III. 성능분석

3.1 주파수충돌 확률

3.1.1 사용자간 간섭모델

본 논문에서는 M-ary FSK를 사용한 경우를 고려하며, 주파수도약네트워크의 채널은 q개의 협대역 주파수슬롯으로 구성되어 있고 각 주파수슬롯 M개의 톤으로 구성되어 있다. 전송단에서는 패킷이라 불리는 고정된 길이의 심볼 스트림을 전송하게 되는데 각 심볼은 $\log_2 M$ 비트의 정보를 하나의 톤에 실어 전송한다. 같은 주파수슬롯을 동시에 서로 다른 사용자가 점유하였을 경우에 발생하는 주파수 충돌은 일반적으로 주파수 도약주기동안 전체적으로 중복되기 보다는 부분적인 중복에 의하여 발생된다. 본 논문에서는 주파수가 중복되는 정도가 도약주기 내에 균등하게 분포한다고 가정하여 중복되는 정도가 일정 수준 이상일 때만 주파수 충돌이 발생하고, 그 이외의 경우는 정보심볼을 정확히 수신한다고 가정한다. 또한 채널에서 동시 수용되는 사용자 수는 일정하다고 가정한다.

주파수 중복의 형태는 그림 1과 같은데, 수신단에서는 주파수 중복정도 τ 가 도약주기 시간인 T_h 와 비교하여 그값이 $\rho > (\tau/T_h)$ 인가를 검증하기 위하여 주파수 슬롯 내의 톤을 모두 각각 체크하여야 한다.

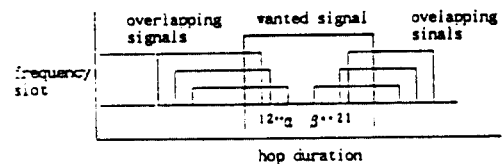


그림 1. 하나의 톤위치 좌측으로부터 중복되는 신호 α 와 우측으로부터 중복되는 신호 β 경우의 주파수중복
Fig 1. The case of α signals overlapping from left and β signals overlapping from right in a single tone position

톤 내의 전체적인 주파수중복은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau = \min(1, \tau_L + \tau_R)$$

여기서 τ_L = 왼쪽으로부터 최대 주파수 중복값

τ_R = 오른쪽으로부터 최대 주파수 중복값

위와 τ_L 와 τ_R 은 0과 1사이의 값을 갖는다.

주파수충돌이 발생하였다는 것은 한 도약 주기내 M개의 톤 위치중 하나 이상에서 $\tau > \rho$ 인 상황이 발생한 경우이다. 원하는 신호와 같은 채널을 동시에 사용하는 사용자수가 I명 있다고 할 때, I명의 사용자중 m명의 사용자가 원하는 신호와 같은 주파수 슬롯을 선택하였다고 가정하였을 경우 주파수충돌이 발생할 확률은 아래와 같이 표현되며, 이때 m은 랜덤변수이다.

$$P_h = \sum_{m=1}^I P(e|m) Q(m|I) \quad (3)$$

여기서

$P(e|m)$ = (심볼 에러 | m명의 다른 사용자가 원하는 신호와 같은 주파수 슬롯을 사용하는 경우)

$Q(m|I)$ = (m명의 다른 사용자가 원하는 신호와 같은 주파수 슬롯을 사용할 확률 | 채널상에서 I명의 다른 사용자가 존재하는 경우)

사용자는 주파수슬롯을 임의로 선택하므로 일량 분포 (Uniform distribution)를 갖는다. 따라서

$$Q(m|I) = \left[\frac{I}{m} \right] \left[\frac{2}{q} \right]^m \cdot \left[1 - \frac{2}{q} \right]^{I-m} \quad (4)$$

이다.

$P(e|m)$ 은 같은 주파수슬롯을 사용하는 사용자수가 m일 경우 하나 이상의 톤 위치에서 주파수 중복정도가 ρ 이상인 경우의 조건확률로 3.1.2절에서 계산하였다.

3.1.2 $P(e|m)$ 의 계산

먼저 하나의 톤위치에서 m명의 서로 다른 사용자 신호의 분포를 구하고, 그때의 각 분포에 따라서 하나 이상의 톤에서 주파수중복이 ρ 이상인 경우의 확률을 구한다.

상태변수 n_m 을 m개의 서로 다른 신호가 원하는 신호와 중복되어 한 주파수슬롯내에 위치하는 경우 톤

의 분포를 나타낸다고 정의하면 아래와 같이 표현된다.

$$n_m = (n_m(1), n_m(2), n_m(3), \dots, n_m(m)) \quad (5)$$

여기서, $n_m(j)$: 하나의 주파수 슬롯에서 j개의 서로 다른 신호를 포함하는 톤수

상태변수 n_m 은 다음 두 조건을 만족하여야 한다. 첫째로 같은 주파수슬롯 내에 m개의 서로 다른 신호가 있으므로 아래 조건이 만족되어야 한다.

$$\sum_{j=1}^m j \cdot n_m(j) = m \quad (6)$$

둘째로 톤을 점유하는 전체 수 n이 주파수슬롯에서 다른 사용자의 수보다 크면 안된다. 즉,

$$\hat{n} = \sum_{j=1}^m n_m(j) \leq \min(m, M) \quad (7)$$

m 이 주어졌을 경우 주파수충돌이 발생할 조건확률은

$$P(e|m) = 1 - \sum_{n_m} \Pr(\text{symbol success} | n_m) \cdot R(n_m) \quad (8)$$

여기서, $R(n_m)$: 상태변수 n_m 이 발생할 확률이다.

3.1.3 n_m 의 계산

M개의 톤위치가 주어졌을 경우 위의 식(6), (7)의 조건을 만족하는 m의 각각 값에 대한 상태변수 n_m 을 구하여야 한다.

상태변수 n_m 에서 사용자 1명이 추가된 경우의 상태변수 n_{m+1} 을 구하여 보자. 먼저 추가 사용자 (m+1)번째 사용자가 m명의 사용자에게 의하여 점유되지 않은 톤을 선택하는 경우를 고려하면, 하나의 신호에 의하여만 점유된 톤의 수는 1이 증가되고, i명의 다른 사용자를 포함하고 있는 톤의 수는 변하지 않고 전과 동일하다. 따라서, n_{m+1} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n_{m+1}(1) = n_m(1) + 1 \quad (9)$$

$$n_{m+1}(i) = n_m(i) \quad i = 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

(m+1)번째 사용자가 이미 다른 사용자에게 의하여 점유된 톤을 사용하는 경우를 고려하자. i명의 사용자에게 의하여 점유되어 있던 톤을 새로운 (i+1)번째 사용자가 추가로 사용하게 되면, i명을 포함한 수는 1이 감소되고 i+1명을 포함한 수는 1이 증가된다. 따라서 n_{m+1} 은 다음과 같이 표현된다.

$$n_{m+1}(i) = n_m(i) - 1 \quad (11)$$

$$n_{m+1}(i+1) = n_m(i+1) \quad (10)$$

이와 같은 방법으로 $m \leq 4$ 일때 n_m 을 구하면 표 1과 같다.

표 1. 상태변수 n_m 의 계산 ($m \leq 4$)
Table 1. Enumeration of States for $m \leq 4$

m=1	(1)
m=2	(2,0), (0,1)
m=3	(3,0,0), (1,1,0), (0,0,1)
m=4	(4,0,0,0), (2,1,0,0), (0,2,0,0), (1,0,1,0), (0,0,0,1)

3.1.4 n_m 의 확률분포 : $R(n_m)$

원하는 신호와 같은 주파수슬롯을 사용하는 사용자가 m명 있고 각각 2M개의 톤위치중 하나에 신호를 실어 사용하고 있다. 또한 각각의 톤 위치가 사용될 확률은 모두 1/M로 동일하다고 가정한다. m명의 사용자에게 의하여 점유된 상태변수 $n_m = (n_m(1), n_m(2), \dots, n_m(m))$ 을 고려하자. $n_m(1)$ 은 하나의 톤을 혼자서만 점유하는 경우로서 첫번째의 사용자가 톤의 위치를 선택할 확률은 $M/M=1$ 이다. 두번째의 사용자도 랜덤하게 톤을 선택할 때, 첫번째 사용자가 선택한 톤을 제외한 다른 톤을 선택할 확률은 $(M-1)/M$ 이다. 같은 방법으로 사용자 $n_m(1)$ 번째 사용자가 이전의 사용자가 점유하지 않은 톤을 선택할 확률은 $[M - (n_m(1) - 1)]/M$ 이다. 따라서 $\Pr(n_m(1))$ 의 사용자가 서로 다른 톤을 점유할 경우)

$$= \frac{M}{M} \frac{(M-1)}{M} \frac{(M-2)}{M} \dots \frac{(N - (n_m(1) - 1))}{M} \quad (13)$$

이다. $n_m(2)$ 의 확률을 구하면, 이전의 사용자가 선택하지 않은 톤을 두명의 사용자가 같은 톤을 점유하는 $n_m(2)$ 의 확률을 구한다. $n_m(1)+1$ 번째의 사용자는

$n_m(1)$ 사용자에게 의하여 점유되지 않은 톤의 위치를 선택하여야 한다. 따라서 그때의 확률은 $[M - n_m(1)]/M$ 이다. $n_m(1)+2$ 번째의 사용자는 $n_m(1)+1$ 의 사용자와 같은 톤의 위치를 점유해야 하므로 그 확률은 $1/M$ 이다. 마찬가지로 $n_m(1)+3$ 번째 사용자는 이전 사용자가 선택하지 않은 톤을 선택해야 하며 (이때의 확률은 $[M - n_m(1)]/M$), $n_m(1)+4$ 번째 사용자는 $n_m(1)+3$ 과 같은 톤을 선택하여야 한다(이때의 확률은 $1/M$). 같은 방법으로 $n_m(3)$ 와 $n_m(4)$ 등의 경우를 고려하여 일반화 시키면 아래와 같다.

$$\Pr(I_m) = \frac{M!}{M^m(M - \hat{n})!}$$

여기서, \hat{n} : 점유된 톤의 전체 수

m명의 사용자를 j명의 사용자로 구성되어 있는 $n_m(j)$ group으로 분할할 수 있는 방법의 수를 $N(n_m)$ 라 할 때, n_m 의 확률분포 $R(n_m)$ 은 $R(n_m) = N(n_m) \cdot \Pr(I_m)$ 으로 표현할 수 있다.

여기서

$$N(n_m) = \frac{m!}{\prod_{j=1}^m (j!)^{n_m(j)} n_m(j)} \quad (15)$$

이다[2].

3.1.5 주파수충돌이 발생하지 않은 확률

먼저, 전체 주파수중복의 정도 τ 가 어떤 특정 톤의 위치에서 ρ 보다 적은 경우의 확률 $\Pr(\tau < \rho | j)$ 를 계산한다.

α 를 원하는 신호의 왼쪽으로부터 중복되는 다른 사용자의 수, $\beta = j - \alpha$ 를 오른쪽으로부터 중복되는 사용자의 수라 하고, 아래와 같이 $X(a)$, $Y(b)$ 의 값을 정의한다.

- X(a) : 왼쪽으로부터 중복되는 신호중 a번째 신호의 중복정도
 $a=1, \dots, \alpha$
- Y(b) : 오른쪽으로부터 중복되는 신호중 b번째 신호의 중복정도
 $b=1, \dots, \beta$

X(a)와 Y(b)는 서로 독립적이고 (0,1)에서 균등하게 분포한다. τ_L 과 τ_R 을 다음과 같이 정의하면

$$\tau_L = \max_a (X(a)), \quad \tau_R = \max_a (Y(b)) \quad (16)$$

주파수중복 정도 τ 는

$$\tau = \min(1, \tau_L + \tau_R) \quad (17)$$

이다. τ_L 와 τ_R 이 서로 독립적이므로 τ 의 조건 확률밀도는 그들의 각각 밀도의 컨벌류션이다. 따라서 $\Pr(\tau < \rho | j)$ 는 다음과 같이 구해진다[3].

$$\Pr(\tau < \rho | j) = (j+1)(\rho/2)^j \quad (18)$$

T_j 를 각각의 톤위치에서 원하는 신호의 주파수 충돌 정도가 ρ 보다 적은 확률이라 정의하면,

$T_j = [\Pr(\tau < \rho | j)]^{n_m(j)}$ 이고 따라서, n_m 이 주어졌을 경우 주파수충돌이 발생하지 않을 경우의 조건확률은

$$\Pr(\text{symbol success}) = \prod_{j=1}^m T_j = \rho^m \prod_{j=1}^m [(j+1)(1/2)^j]^{n_m(j)} \quad (19)$$

로 나타낸다.

3.2 부호별 에러확률

재밍, 페이딩 및 사용자 간섭에 의한 잡음이 존재하는 네트워크에서 시스템의 성능을 개선하기 위하여 부호화 개념을 도입하는 것은 필수적이다. 본 절에서는 성능개선을 위하여 RS부호, 길쌈부호, 쇄상부호를 도입하여 각각의 에러발생확률을 구하였다. RS부호를 사용한 경우 보조정보를 이용하지 않을 때와 보조정보를 이용한 때의 에러확률은 각각 [1]의 식(6)과 식(13)과 같고 다음과 같다.

$$P_s \leq 1 - (1 - P_h)^{l-1} [(1 - \omega)(1 - P_o)^m + \omega(1 - P_{j,0})^m] \quad (20)$$

$$P_{e,s} = \left\{ \sum_{j=0}^{\hat{n}} \binom{\hat{n}}{j} \epsilon_s^j (1 - \epsilon_s)^{n-j} \sum_{\substack{e+1 \leq 2l+j \\ 1+j \leq n}} \frac{j+1}{n} \binom{n-j}{1} \right. \\ \cdot [1 - (1 - P_o)^m]^{l-1} \cdot [1 - [1 - (1 - P_o)^m]^{n-j-1}] \\ \left. + \left\{ \sum_{j=e+1}^{\hat{n}} \binom{\hat{n}}{j} \epsilon_s^j (1 - \epsilon_s)^{n-j} \sum_{\substack{1+j \leq l_1+l_2 \\ l_1 \leq j \\ l_2 \leq n-j}} \left[\frac{l_1+l_2}{n} \right] \right. \right.$$

$$\cdot \bar{P}^{l_1} (1 - \bar{P})^{j-1}$$

$$\cdot \left. \left[\binom{n-j}{l_2} \right] [1 - (1 - P_o)^m]^{l_2} [1 - [1 - (1 - P_o)^m]^{n-j-l_2}] \right\} \quad (21)$$

길쌈부호 사용시의 에러확률은 [1]의 식(14)로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{e,b} \leq \frac{1}{b} \cdot \sum_{j=1}^{\infty} W_j P_j \quad (21)$$

쇄상부호에서는 내부부호로 ब्ल록 부호를 외부부호로는 RS부호를 사용하였다. 내부부호에서 소거된 정보만을 외부부호가 정정하는 경우의 에러확률은 [1]의 식(23)과 같다.

$$P_{e,s} = \sum_{\substack{j+1 \leq \hat{n} \\ \hat{e}+1 \leq 2l+j}} \frac{j+1}{n} \binom{\hat{n}}{j,1} \cdot P_{ud}^l P_d^{j-1} (1 - P_{ud} - P_d)^{\hat{n}-1-j} \quad (22)$$

소거된 정보와 감지되지 않은 에러 갯수와 합이 용장(redundancy)보다 적을 때는 동시에 정정하고, 그 이상일 때는 에러정정만 하는 소거/에러심볼을 동시에 정정하는 경우의 에러확률은 [1]의 식(25)와 같다.

$$P_{e,s} = \left\{ \sum_{j+1 \leq \hat{n}} \frac{j+1}{n} \binom{\hat{n}}{j,1} \cdot P_{ud}^l P_d^{j-1} (1 - P_{ud} - P_d)^{\hat{n}-1-j} \right. \\ \left. \hat{e}+1 \leq 2l+j \right. \\ \left. + \left\{ \sum_{j=\hat{e}+1}^{\hat{n}} \binom{\hat{n}}{j} P_d^{j-1} (1 - P_d)^{\hat{n}-j} \right. \right. \\ \left. \cdot \sum_{0 \leq l \leq \hat{n}-j} \frac{j+1}{\hat{n}} \binom{\hat{n}-j}{1} P_{ud}^l (1 - P_{ud})^{\hat{n}-j-1} \right\} \quad (23)$$

다만, 각각의 부호에서 주파수 충돌확률은 3.1절에서 구한 값을 이용한다.

IV. 결과 및 고찰

사용자수, M-ary의 M값, 주파수슬롯수를 고정시킨 상태에서 주파수 중복정도인 ρ 의 값과 주파수충돌이 발생할 확률과의 관계는 그림 2와 같다.

사용자 수 I 와 주파수 슬롯수 q 를 고정시키고 M -ary의 값 M 을 변화시켰을 경우, M 값의 변화에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 $\rho=0$, 즉 주파수 중복이 조금이라도 발생하면 주파수 충돌로 인정하는 경우, Geraniotis[4]가 유도한 주파수 충돌 발생확률 $P_h=(1+1/N_b)/q$ 값과 일치함을 확인하였다. 그림 2의 결과를 살펴보면 주파수 충돌 확률은 ρ 의 값에 따라 선형적으로 감소하는데 $\rho=0$ 에서 $\rho=0.5$ 로 변화시켰을 경우 주파수 충돌 발생확률이 38% 감소함을 알 수 있다.

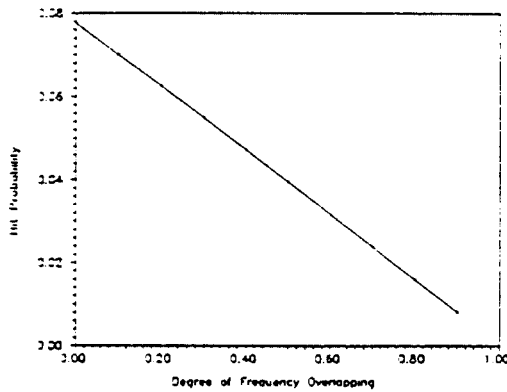


그림 2. ρ 값에 따른 주파수 충돌 확률 ($I=4$, 8-ary, $q=100$)
Fig 2. Hit probability according to ρ

그림 3에 RS부호에서 보조정보를 이용하지 않았을 경우, 페이딩된 신호와 페이딩 되지 않은 신호의 비를 나타내는 $\gamma^2=0.1, 0.5$ 일 때, 그리고 주파수 충돌의 기준값 ρ 를 0과 0.5로 했을 때 에러확률을 나타내었다. $\rho=0.5$ 일 때 에러발생분포 유형은 $\rho=0$ 일 때와 거의 유사하나 E_b/N_j 를 증가시킴으로써 나타나는 성능개선율은 표2와 같이 훨씬 우수함을 알 수 있다.

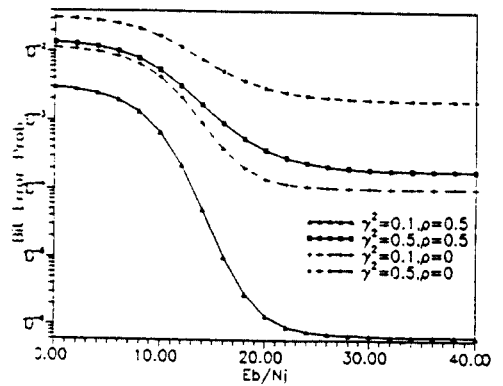


그림 3. RS부호에서의 비트에러확률(보조정보를 이용하지 않은 경우)

Fig 3. Bit error probability employing RS code without side information

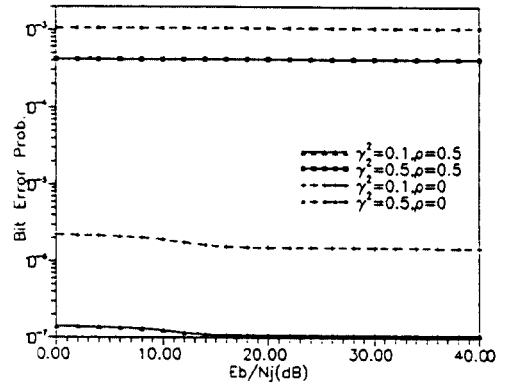


그림 4. RS부호에서의 비트에러확률(보조정보를 이용한 경우)

Fig 4. Bit error probability employing RS code with side information Fig.

표 2. RS부호를 사용한 경우와 ρ 값에 따른 에러확률의 비교

Table 2. Comparison of error probabilities employing RS code according to ρ value

E_b/N_j (db)		10	12	14	16	18	20
No Side Inf.	$\rho=0$	4.27×10^{-3}	2.18×10^{-3}	9.12×10^{-4}	3.83×10^{-4}	2.02×10^{-4}	1.41×10^{-4}
	$\rho=0.5$	6.63×10^{-4}	2.22×10^{-4}	5.00×10^{-5}	1.02×10^{-5}	2.89×10^{-6}	1.37×10^{-6}
with Side Inf	$\rho=0$	1.91×10^{-6}	1.76×10^{-6}	1.63×10^{-6}	1.56×10^{-6}	1.53×10^{-6}	1.51×10^{-6}
	$\rho=0.5$	1.24×10^{-7}	1.15×10^{-7}	1.10×10^{-7}	1.09×10^{-7}	1.08×10^{-7}	1.08×10^{-7}

그림 4는 RS부호에서 보조정보를 이용한 경우, $\gamma^2=0.1, 0.5, \rho=0, 0.5$ 일때 에러확률이다. 보조정보를 이용한 경우 상당한 성능의 개선을 볼 수 있다.

그림 5와 6은 부호화율이 1/3인 길쌈부호를 보조정보의 이용 유무에 따라 구한 에러확률이다. 복합적인 간섭이 존재하는 채널환경에서는 RS부호에 비하여 성능이 훨씬 떨어짐을 알 수 있다. 표3에 ρ 값에 따른 성능을 비교하였다.

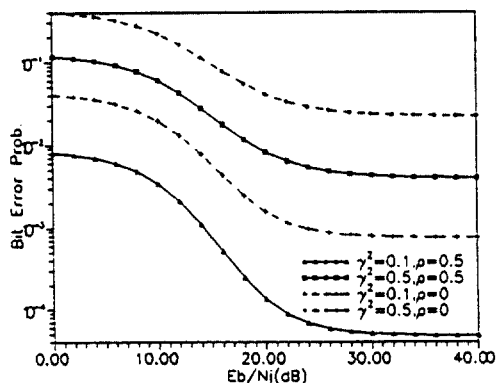


그림 5. 길쌈부호에서의 비트에러확률(보조정보를 사용하지 않는 경우)

Fig 5. Bit error probability employing convolutional code without side information

그림 7,8은 쇄상부호의 ρ 값에 따른 에러확률로 각각 내부부호에서 소거된 정보와 일부에러를 정정하는 경우와 소거/에러정보를 동시에 정정하는 경우이다. 앞서의 부호들과 마찬가지로 ρ 값의 변화는 에러 발생분포 유형은 비슷하나, 상당한 성능개선을 볼 수 있다.

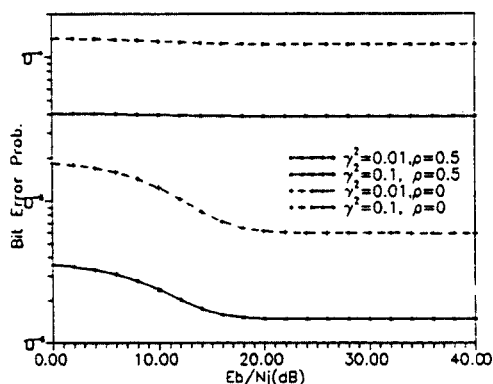


그림 6. 길쌈부호에서의 비트에러확률(보조정보를 이용한 경우)

Fig 6. Bit error probability employing convolutional code with side information

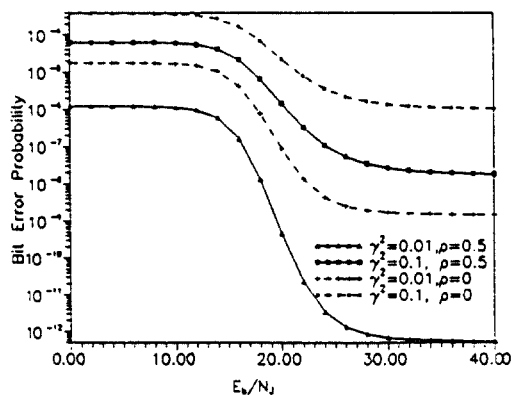


그림 7. 쇄상부호에서 소거된 심볼만 정정하는 경우 에러 확률

Fig 7. Bit error probability employing concatenated code in the case of erasure /error decoding

표 3. 길쌈부호를 사용한 경우 ρ 값에 따른 에러확률의 비교

Table 3. Comparison of bit error probabilities employing convolutional code according to ρ value

E_b/N_j (db)		10	12	14	16	18	20
No Side Inf.	$\rho=0$	4.27×10^{-2}	2.18×10^{-2}	9.12×10^{-3}	3.83×10^{-3}	2.02×10^{-3}	1.41×10^{-3}
	$\rho=0.5$	6.63×10^{-3}	2.22×10^{-4}	5.00×10^{-4}	1.02×10^{-4}	2.89×10^{-5}	1.37×10^{-5}
with Side Inf	$\rho=0$	1.91×10^{-5}	1.76×10^{-5}	1.63×10^{-6}	1.56×10^{-6}	1.53×10^{-6}	1.51×10^{-6}
	$\rho=0.5$	1.24×10^{-6}	1.15×10^{-6}	1.10×10^{-6}	1.09×10^{-6}	1.08×10^{-6}	1.08×10^{-6}

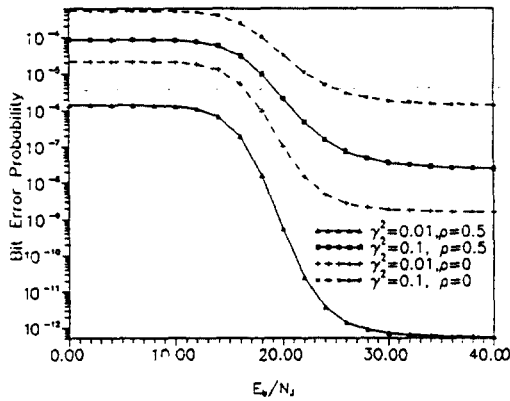


그림 8. 왜상부호에서 소거/에러 심볼을 병행하여 정정하는 경우 에러확률

Fig 8. Bit error probability employing concatenated code in the case of erasure /error parallel decoding

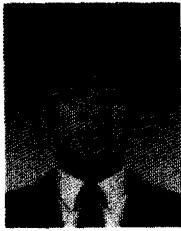
V. 결 론

본 논문에서는 AWGN, 협대역 재밍, 페이딩, 사용자간의 간섭등을 모두 포함하는 채널환경을 모델링하여 FH/SSMA네트워크시스템의 부호별 성능을 분석하였다. 특히, 주파수 중복정도가 일정한 값(ρ)보다 작은, 부분 주파수 충돌시에는 정보심볼을 정확히 수신한다고 가정하여, 다른 대부분의 논문에서 가정한 아무리 작은 주파수 중복도 충돌로 인정한 것과 비교 분석하였다. 분석결과 주파수충돌은 주파수 중복의 기준에 따라 선형적으로 변화하고 주파수 슬롯수가 상당히 큰 값에서는 M-ary의 M값 변화에는 거의 무관한 것으로 나타났다. 또한 주파수 중복이 0.5 이상일 경우만 주파수 충돌이 발생했다고 가정한 경

우를 약간의 주파수 중복도 충돌로 인정한 경우와 비교하여 볼때, 모든 부호에서 에러발생 분포유형은 거의 유사하고 성능은 훨씬 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김근목, 정영지, 홍인기, 황금찬, "부호화한 주파수 도약 대역확산 통신 네트워크의 성능분석" 한국통신학회논문지 92년 7월호.
2. C. Berge, Principles of Combinatorics, New York : Academic, 1971.
3. J.E. Wieselthier and A. Ephremides, "Discrimination against partially overlapping Interference-Its effect on throughput in frequency hopped multiple access channel," IEEE Trans. communications, vol. COM-34, pp.136-142, February 1986.
4. E.A.Geraniotis and M.B.Pursley, "Error probabilities for slow frequency hopped spread-spectrum multiple access communications over fading channels," IEEE Trans. communications, vol.COM-30, pp.996-1009, May 1982.
5. M. B. Pursely, "Frequency-Hop Transmission for Satellite Packet Switching and Terrestrial Packet Radio Networks," IEEE Trans. on information theory, vol.It-32, No. 5, pp.652-667, Sep. 1986.
6. E.A. Geraniotis, "A Study of Spread-Spectrum Multiple-Access Communications over Fading Channel." Ph. D. dissertation, Dep. Elec. Eng. Univ. Illinois, 1980.



洪仁基(Een Kee Hong) 正會員
1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1991년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원(공학석사)
1991년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기공학과 박사과정
※주관심분야 : Spread-Spectrum 통신, 이동무선통신, 채널코딩 등임



金根默(Keun Mook Kim) 正會員
1980년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1982년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원(공학석사)
1992년 2월 : 연세대학교 전기공학과 대학원(공학박사)
1982년 ~ 1985년 : 금성사 중앙연구소 근무
1985년 ~ 현재 : 한국통신근무
※주관심분야 : Spread-Spectrum 통신, 채널코딩 등임



黃金燦(Keum Chan Whang) 正會員
1944년 7월 18일생
1967년 2월 : 延世大學校 電氣工學科 卒業(工學士)
1975년 6월 : 미국 Polytechnique Institute of New York 大學院(工學碩士)
1979년 6월 : 미국 Polytechnique Institute of New York 大學院(工學博士)

1979년 6월 ~ 1980년 9월 : 大田機械倉 先任研究員
1980년 9월 ~ 현재 : 延世大學校 電氣工學科 教授