

# 이동통신 채널에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법과 MRC 다이버시티 기법에 의한 SFH-CDMA/FSK 신호의 성능 개선

正會員 吳昌憲\*, 朴相勳\*\*, 趙成俊\*\*

## Performance Improvement of SFH-CDMA/FSK Signal with Truncated Type-II Hybrid ARQ and MRC Diversity Techniques in Mobile Communications Channel

Chang Heon Oh\*, Sang Hoon Park\*\*, Sung Joon Cho\*\* Regular Members

### 要 約

본 논문에서는 가우스 잡음 (AWGN)과 다중접속 간섭 (MUI) 및 나카가미 (Nakagami) 페이딩 환경으로 모델링 되는 이동통신 채널에서 SFH-CDMA/FSK 신호에 대한 성능개선책으로 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법과 MRC 다이버시티 기법을 채용했을 때의 오율특성을 분석하였다. 유도한 식을 이용하여 오율과 throughput을 수치 계산하고 그 결과를 홉 (hop) 당 데이터 비트수 ( $N_b$ ), 호핑수 ( $q$ ), 사용자수 ( $k$ ), 다이버시티 가지수 ( $L$ ), 페이딩 지수 ( $m$ ), 및 에러검출 부호  $C_0$ , 에러정정 부호  $C_1$ , 비트에너지 대 잡음전력 스펙트럼 밀도비 ( $E_b/N_0$ ) 등을 함수로 하여 그래프로 나타내었다. 그 결과에 의하면 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 사용할 때가 FEC 기법을 사용할 때보다 더 우수한 성능개선을 보였으며, 특히 다이버시티 기법과 함께 사용하면 그 개선효과가 현저히 증가하였다. 시스템의 신뢰성은  $C_0$ 와  $C_1$  모두에 의해 결정되므로 시스템이 요구하는 에러율에 적합하도록  $C_0$ ,  $C_1$  부호를 선택해야 한다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법은 SR (Selective Repeat) -ARQ 기법에 비해 전송지연이 작고 throughput이 높고, FEC 기법에 비해 신뢰성이 높으므로 실시간 (delay-limited) 처리 및 고신뢰도가 요구되는 이동통신 및 무선 데이터 통신 시스템에 적용이 가능하리라 판단된다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyzed the performance improvement of the SFH-CDMA/FSK signal with Truncated Type-II Hybrid

\*三星電子(株) 通信開發室

Wireless Comm. Group, Communication Systems R&D  
Center of Samsung Electronics Co., Ltd.

\*\*韓國航空大學校 大學院 航空通信情報工學科

Dept. of Telecom. & Inform. Eng., Graduate School  
of Hankuk Aviation Univ.

論文番號 : 94261-0928

接受日字 : 1994年 9月 28日

ARQ and MRC diversity techniques in mobile communications channel which is characterized by AWGN, MUI (Multi-User Interference) and Nakagami fading. Using the derived equations, the error probability and throughput are evaluated and shown in figures as a function of number of data bits per hop ( $N_b$ ), number of hopping frequency ( $q$ ), number of active user ( $K$ ), number of diversity branches ( $L$ ), fading index ( $m$ ), error detection code  $C_0$ , error correction code  $C_1$  and  $E_b/N_0$ . From the results, we know that Truncated Type-II Hybrid ARQ scheme provides more efficient improvement over FEC (Forward Error Correction) scheme and the degree of improvement is more increased when it is combined with MRC diversity technique. Since the reliability of Truncated Type-II Hybrid ARQ is determined by both  $C_0$  and  $C_1$ , the  $C_0$ ,  $C_1$  should be selected depending on the system performance. As a result, Truncated Type-II Hybrid ARQ scheme provides lower transmission delay and higher throughput than SR (Selective Repeat) -ARQ scheme and it also provides a higher reliability than FEC scheme. Therefore, Truncated Type-II Hybrid ARQ scheme is proper for the mobile and radio data communication systems that require high reliability and delay-limited applications.

## 1. 서 론

최근, 이동통신 수요의 급증에 따라 수용용량의 한계를 극복하기 위한 방안으로 CDMA 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CDMA 방식은 FDMA나 TDMA 방식과 달리 여러명의 사용자가 같은 주파수를 이용하여 동시에 정보를 전송할 수 있으므로 가입자 수용용량이 높고 셀룰라 시스템에서 셀배치가 간소화되는 장점을 가지고 있다<sup>(1)</sup>. CDMA 방식은 스펙트럼 확산 (Spread Spectrum) 기술을 응용한 방식으로 직접 확산 (Direct Sequence : DS) 방식과 주파수 도약 (Frequency Hopping : FH) 방식으로 크게 나눌 수 있다. DS-CDMA 방식에 관해서는 그동안 많은 연구가 활발히 진행되어 왔으며, Qualcomm사를 중심으로 현장실험을 통해 차세대 이동통신 시스템으로 제안되었다. 우리나라의 경우도 차세대 이동통신 시스템으로 DS-CDMA 방식이 확정되어 현재 개발 중이다. 그러나 최근 연구 결과인 문헌 (2), (3)에 의하면 제 3세대 이동통신 방식으로 저속 FH-CDMA 방식이 제안되고 있다. 초기의 FH 방식은 주로 100 khops/sec 이상의 고속 FH (Fast Frequency Hopping : FFH) 방식을 고려하였기 때문에 여러가지 기술상의 문제점이 있으나 최근들어 500 hops/sec 정도의 저속 FH (Slow Frequency Hopping : SFH) 방식을 고려하므로써 기술상의 구현이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 이동통신 환경에서 SFH-CDMA/FSK 시스템의 성능을 해석한다. 이에 관한 기존 연구로서는 참고문헌 (4)~(7)이 있으며, 특히 참고문헌 (7)의 결과에 의하면 SFH-CDMA/FSK 시스템의 성능은 잡음이나 페이딩의 영향보다는 여러 사용자가 동시에 같은 주파수를 사용함으로써 발생하는 충돌 (hit) 에 의해 지배적인 영향을 받기 때문에 이에 대한 성능개선 기법이 필요하다. SFH-CDMA/FSK 시스템에 대한 성능개선책으로 지금까지 주로 연구되어온 기법은 다이버시티나 채널 부호화 기법이 대부분이다. 이동통신 환경에서 성능개선 기법으로 ARQ 기법을 채용한 연구는 최근들어 시작되고 있다<sup>(8)-(10)</sup>. ARQ 기법은 높은 throughput과 낮은 에러율을 얻기 위해 주로 Hybrid 형태의 ARQ 기법 (Type-I Hybrid ARQ, Type-II Hybrid ARQ) 이 이용되며, 특히 이동통신 채널과 같은 환경에서 효율적으로 전송 에러를 제어하고 음성통신 등에서 문제시되는 전송지연 (transmission delay) 을 극복하기 위해 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법이 제안되었다<sup>(10)</sup>.

본 논문에서는 AWGN, 다중접속간섭 (MUI) 및 나카가미 (Nakagami) 페이딩 환경으로 모델링되는 이동통신 채널에서 SFH-CDMA/FSK 신호의 성능개선을 위해 Truncated Type-I Hybrid ARQ 기법과 MRC 다이버시티 기법을 채용하는 경우 SFH-CDMA/FSK 신호 성능의 개선정도와 이때의

throughput과 전송지연(transmission delay)을 이론적으로 해석하고자 한다.

## 2. 시스템 모델

SFH-CDMA/FSK 시스템에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용한 시스템 모델을 그림 1에 나타낸다.

### 1. 송수신기 모델

정보비트는 Hybrid 부호기에서 에러검출을 위한  $C_0$  부호와 에러정정을 위한  $C_1$  부호로 부호화된다. 처음에는  $C_0$  부호만을 전송하고  $C_1$  부호의 패리티 비트 (parity bit) 는 일단 송신버퍼에 저장된다.  $k$ 번째 사용자의 정보비트  $b_k(t)$ 는  $T_d$ 의 간격을 갖는 구형펄스 열(sequence)이며, FSK 변조된 신호  $c_k(t)$ 는 다음과 같다.

$$c_k(t) = \cos[2\pi\{f_c + b_k(t)\Delta\}t],$$

단,  $\Delta$ : FSK 두 톤 사이 간격의 1/2. (1)

이 변조된 신호는 다음과 같은  $k$ 번째 호핑패턴  $f_k^{(j)}$ 에 의해 주파수 도약된다.

$$f_k^{(j)} = f_j^{(k)} \quad jT_h \leq t < (j+1)T_h,$$

단,  $f_j^{(k)} = f_{-1}^{(k)}, f_0^{(k)}, f_1^{(k)}, \dots$ , (2)

식 (2)에서  $T_h$ 는 홉 (hop) 주기로서 SFH인 경우  $T_d$ 의 정수배 값을 가진다. 그리고  $N_b (\hat{=} T_h/T_d)$ 는 홉당 데이터 비트수를 나타낸다. 따라서 주파수 도약된 신호  $s_k(t)$ 는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P} \cos[2\pi \tilde{f}_k(t) + \theta_k(t)], \quad (3)$$

단,  $\tilde{f}_k(t) = f_c + b_k(t)\Delta + f_k(t)$ 이며,  $P$ 는 신호전력이다.

수신기에서 수신된 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

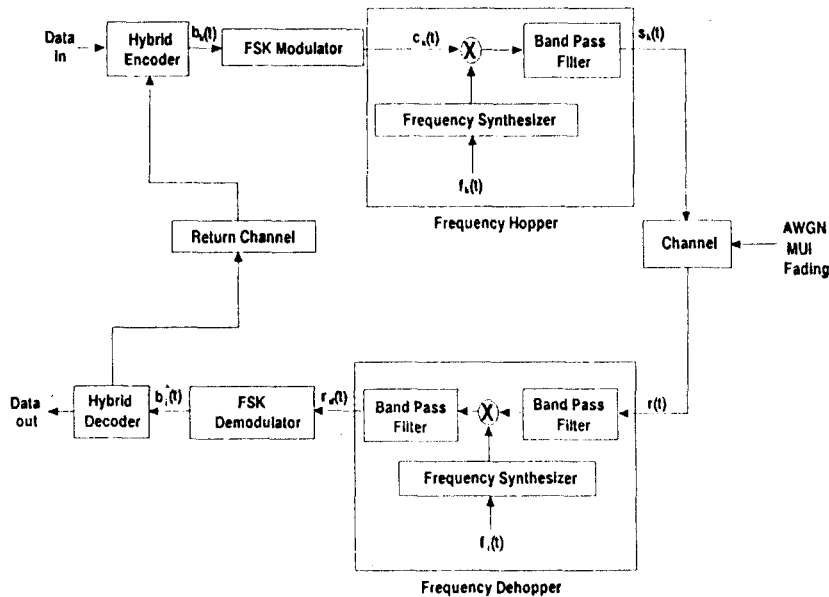


그림 1. 시스템 모델  
Fig 1. System model.

$$r(t) = \alpha e^{-j\theta} s_k(t) + i(t) + n(t). \quad (4)$$

식 (4)에서  $\alpha e^{-j\theta}$ 는 채널특성을 나타내는 변수이며,  $i(t)$ 와  $n(t)$ 는 각각 MUI (Multi-User Interference) 와 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 을 나타낸다.

수신신호는 역확산 및 복조과정을 거친 후 Hybrid 복호기에 전달되어 에러검출이 행해진다. 이때 수신신호에서 에러가 검출되지 않으면 그 수신신호는 그대로 수신되나 에러가 검출되면 그 수신신호를 일단 수신버퍼에 저장한 후 귀환채널 (return channel) 을 통해 송신측에 재전송을 요구한다. 송신측에서는 송신 버퍼에 저장되어 있던  $C_1$  부호의 패리티 비트를 전송한다.  $C_1$  부호로서는 블록 부호 (block code) 와 컨벌루션 부호 (convolution code) 가 사용될 수 있으나 본 논문에서는 블록 부호를 고려한다. 전송된 패리티 비트를 이용, 변환 (inversion) 과정을 거쳐 정보신호를 복원한다. 변환과정을 거쳐 얻은 정보신호에 대해 에러검출을 행해 에러가 검출되지 않으면 그대로 수신한다. 그러나 에러가 검출되면 패리티 비트는 수신버퍼에 저장되어 있던 에러가 발생한 정보비트와 결합하여 에러정정 부호로 사용되며 이 부호로 에러정정 과정을 거친 후 수신된다. 본 논문에서는 해석의 편의상 귀환채널은 이상적 (error free) 이라고 가정한다.

## 2. 채널 모델

본 논문에서는 AWGN과 다중접속간섭 (MUI) 및 나카가미 (Nakagami) 페이딩 환경으로 모델링되는 이동통신 채널을 고려한다. 채널상에는  $K$ 명의 사용자가 동시에 존재하며, 각 사용자는 사용자 고유의 호핑패턴  $f_k(t)$ 를 사용하여 통신한다.

페이딩 모델로는 주파수 비선택성 나카가미 페이딩 모델을 고려한다. 이 모델은 Rayleigh, Lognormal 또는 Rician 페이딩 모델보다 실제 측정 데이터에 잘 부합되며, 특별한 경우로서 Rayleigh ( $m=1$ ) 및 반가우시안 페이딩 모델 ( $m=0.5$ ) 을 포함하고 있다<sup>(11)</sup>. 또한 나카가미 페이딩 모델의 페이딩 지수인  $m$ 은 Rician 페이딩 모델의 직접파 전력 대 반사파 전력비  $K_r$ 과 다음과 같은 관계에 있다<sup>(12)</sup>.

$$K_r = \frac{\sqrt{m^2 - m}}{m - \sqrt{m^2 - m}}, \quad m \geq 1. \quad (5)$$

$L$ 개의 나카가미 페이딩 채널을 고려할때 각 채널의 순시 SNR  $\gamma_k$ 의 확률밀도함수는 다음과 같다<sup>(13)</sup>.

$$p_{\gamma_k}(\gamma_k) = \frac{m^m \gamma_k^{m-1}}{\Gamma(m) \bar{\gamma}_k^m} \exp\left(-\frac{m\gamma_k}{\bar{\gamma}_k}\right), \quad (6)$$

( $k=1, 2, \dots, L$ )

단,  $\Gamma(\cdot)$  : 감마(gamma) 함수,

$m$ : 페이딩 지수 ( $m \geq \frac{1}{2}$ ),

$\gamma_k$ : 순시 SNR ( $= \alpha^2 \frac{E_b}{N_0}$ )

$\bar{\gamma}_k$ : 평균 SNR

식 (6)에서  $\alpha$ 는 채널의 진폭특성을 나타내는 랜덤변수이다.

## 3. Truncated Type-I Hybrid ARQ 방식

FEC 방식은 throughput은 우수하나 에러율이 높고 ARQ 방식은 throughput은 떨어지나 에러율이 낮다는 장단점을 가지고 있는데, 이 두방식의 단점을 보완한 것이 Hybrid ARQ 방식이다. Hybrid ARQ 방식은 Type-I Hybrid ARQ 방식과 Type-II Hybrid ARQ 방식으로 나눌 수 있다.

Type-I Hybrid ARQ 방식은 전송부호로, 에러검출과 에러정정이 가능한 부호를 사용하는데 비하여 Type-II Hybrid ARQ 방식은 전송부호로 두개의 선형부호를 사용한다. 즉, 평상시에는 에러검출에만 이용되는 high-rate ( $n, k$ )  $C_0$  부호를 전송하고 수신측에서 에러가 검출되어 재전송을 요구하면 에러검출과 정정에 이용되는 half-rate ( $2k, k$ )  $C_1$  부호의 패리티 부분만을 전송한다. 이와같이 Type-II Hybrid ARQ 방식은 에러정정을 위한 패리티 비트를 수신측이 필요할 때만 전송하는 것이 특징이다. 이 패리티 비트와 정보 비트는 1 대 1 대응관계에 있으므로 원래의 정보 부호는 패리티 비트로부터 변환 (inversion) 과정을 통해 쉽게 복호된다. 이러한 성질을 변환 가능한 (invertible) 성질이라 한다. 그러나 Type-II Hybrid ARQ 기법도 ARQ 기법과 같이 특정 채널환경에서는 심각한 전송지연 및 throughput 열화가 문제시 된다. 즉, 정보 전송시 채널의 에러율이 낮으면 반복전송 횟수가 줄

어려워 높은 throughput을 얻을 수 있으나 채널의 에러율이 높으면 반복전송 횟수가 증가하여 throughput이 매우 감소하게 되고 특히, 이동통신 환경에서 문제시 되는 전송지연이 증가하게 된다. 이와같은 단점을 보완한 방식이 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식이다. 이 방식은 실제 이동통신 시스템에서 요구하는 에러율을 데이터 통신인 경우라도 error free ( $1 \times 10^{-10}$ )가 아닌  $1 \times 10^{-6}$  정도라는데 기본 개념을 두고있다<sup>(10)</sup>.

Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식이,  $C_0$  부호로서 에러검출에만 이용되는 ( $n, k$ ) 부호를 사용하는 것은 Type-II Hybrid ARQ 방식과 같으나  $C_1$  부호로서는, 원래 Type-II Hybrid ARQ 방식에서 사용하는 에러검출과 정정에 이용되는 ( $2k, k$ ) 부호 대신 에러정정에만 이용되는 좀 더 강력한 부호인 ( $2n, n$ ) 부호를 사용한다. 또한 재전송도 원래의 정보신호가 정확히 복호될 때까지 계속하는 것이 아니라 재전송 횟수를 제한(truncated)한다. 본 논문에서는 한번 재전송하는 경우를 고려한다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식은 원래의 Type-II Hybrid ARQ 방식에 비해  $C_1$  부호의 에러정정 능력을 상대적으로 높일 수 있어 한번의 재전송으로도 신뢰성 있는 통신이 가능하며, 높은 throughput을 얻을 수 있다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 사용했을 때 시스템의 신뢰성은  $C_0$  부호의 에러검출 능력에 의해서만 결정되는 것이 아니라  $C_0$  부호와  $C_1$  부호 모두에 의해 결정된다. 에러검출 능력이 낮은  $C_0$  부호를 사용하면 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 의한 개선 효과가 적어지며, 에러 검출 능력이 높은  $C_0$  부호를 사용하면 많은 용장성이 부가되어 전송효율이 떨어진다. 한번만 재전송하므로  $C_1$  부호도 시스템의 신뢰성에 많은 영향을 미친다. 따라서 시스템이 요구하는 에러율에 적합하고 용장성이 최소가 되는  $C_0$  부호와  $C_1$  부호를 결정해야 한다.

### 3. 오율 특성

FH-CDMA 시스템의 에러 요인에는 2가지가 있다. 첫째, 채널상에 잡음이나 페이딩이 존재하지 않더라도 여러명의 사용자가 같은 시간에 같은 주파수를 사용함으로써 발생하는 충돌(hit)에 의한 영향과 둘째, 잡음이나 페이딩에 의한 영향이다.

1. 주파수 비선택성 나카가미 페이딩 하의 성능  
AWGN과 MUI 하에서 SFH-CDMA/FSK 신호의 오율식은 참고문헌 (5)에 의하면 다음과 같다.

$$P = P_0(1-\hat{p}) + \frac{1}{2}(\frac{1}{2} + P_0)(K-1)p(1-p)^{(k-2)}, \quad (7)$$

단,  $p = \frac{1}{q}(1 + \frac{1}{N_b})$  : 충돌 발생확률,  
 $\hat{p} = 1 - (1-p)^{(k-1)}$ : ( $K-1$ )명의 사용자로부터의 충돌 발생확률.

식 (7)에서  $P_0$ 는 충돌이 발생하지 않았을 때 송신 비트가 잘못 수신될 조건부 오율식으로서 비동기 FSK 신호의  $P_0$ 는 다음식과 같다<sup>(11)</sup>.

$$P_0 = \frac{1}{2} \exp(-a^2 \frac{\gamma}{2}). \quad (8)$$

식 (8)은 랜덤변수  $a$ 가 일정할 때 즉 변동이 없을 경우의 조건부 오율식이며,  $a$ 가 페이딩에 의해 변동할 때의 오율식은 식 (8)를 식 (6)의 p.d.f를 고려하여 평균을 취해 구한다.

따라서 나카가미 페이딩 채널 하에서 비동기 FSK 신호의 오율식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{o,f} &= \int_0^\infty P_0 p_{o,f}(\gamma_k) d\gamma_k \\ &= \frac{1}{2(1 + \frac{\gamma_k}{2m})^m} \end{aligned} \quad (9)$$

2. MRC (Maximal Ratio Combining) 다이버시티 기법에 의한 성능개선

$L$ 개의 가지(branch)에 의해 MRC 다이버시티 수신시 출력단의 SNR  $\gamma$ 는 다음과 같다<sup>(12)</sup>.

$$\gamma = \sum_{k=1}^L \gamma_k. \quad (10)$$

모든 가지에서  $m$ 과  $\gamma_k$ 가 같고 서로 상관이 없다고 가정하면 MRC 다이버시티 수신시의 SNR  $\gamma$ 에 대한 확률 밀도함수는 다음과 같이 주어진다<sup>(11)</sup>.

$$\begin{aligned} p_{o,f}(\gamma) &= \frac{\gamma^{mL-1}}{\Gamma(mL)} \left(-\frac{m}{\gamma}\right)^{mL} \\ &\cdot \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

따라서 나카가미 페이딩 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용했을 때의 비동기 FSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_{o.f.d} = \int_0^{\infty} P_o b_e(\gamma) d\gamma, \tag{12}$$

$$= \frac{1}{2(1 + \frac{\gamma_c}{2m})^{mL}}$$

3. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 의한 성능개선

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시, 전송효율 (transmission efficiency)  $\mu$ 를 고려한 나카가미 페이딩 하에서의 비동기 FSK 신호의 오율식은 다음과 같다.

$$P_{o.t} = \frac{1}{2(1 + \frac{\gamma_c}{2m})^m}, \tag{13}$$

단,  $\gamma_c = \frac{1}{\mu} \bar{\gamma}$ .

전송효율  $\mu$ 는 다음식으로 정의되며, 이의 역수가 throughput을 나타낸다<sup>(10)</sup>.

$$\mu = \frac{n}{k} [ P_c + 2(1 - P_c - P_e)P_t ]. \tag{14}$$

식 (14)에서  $\frac{k}{n}$ 는 부호율,  $P_c$ 는 수신신호에 에러가 없을 확률,  $P_e$ 는  $C_0$  부호를 수신한 후 검출 불가능한 에러를 가질 확률,  $P_t$ 는 패리티 비트를 수신한 후 변환 과정을 통해 원래의 신호로 복호 가능할 확률이다.  $P_c$ ,  $P_e$ ,  $P_t$ 는 각각 다음과 같이 주어진다<sup>(9)</sup>.

$$P_c = (1 - P)^n. \tag{15}$$

$$P_e \leq [ 1 - (1 - P)^n ] 2^{-(n-k)}. \tag{16}$$

$$P_t = P_c + (1 - P_c - P_e) \frac{q_0 - y}{1 - y}, \tag{17}$$

단,  $q_0 = \sum_{j=0}^L \binom{2n}{j} P^j (1 - P)^{2n-j}$ .

$$y = (1 - P)^n [ 2 \sum_{j=0}^L \binom{n}{j} P^j (1 - P)^{n-j} - (1 - P)^n ].$$

Truncated Type-I Hybrid ARQ 기법 채용시의 수신 에러 확률을  $P_r(E)$ 라 할 때 본 논문에서는 한번만 재전송하는 경우를 고려하므로 오율식은 다음과 같이 된다<sup>(10)</sup>.

$$P_r(E) = P_r(A_0^s) + P_r(A_0^d E_1^s) = P_r(A_0^s) + P_r(A_0^d) P_r(E_1^s | A_0^d). \tag{18}$$

식 (18)에서  $A_0^s$ ,  $A_0^d$ 는 각각 수신신호가 검출 불가능한 에러를 가질 경우와 검출 가능한 에러를 가질 경우를 나타내며,  $E_1^s$ 는 재전송된 패리티 비트를 수신한 후 정정 불가능한 에러를 가질 경우이다. 각각의 정의에 따르면

$$P_r(A_0^s) = P_e. \tag{19}$$

$$P_r(A_0^d) = P_d = 1 - P_c - P_e. \tag{20}$$

이다.

전송된  $C_0$  부호에 대해 에러검출을 행하여 에러가 발생한 신호를 버퍼에 저장하고 이를 재전송된 패리티 비트와 함께 이용하여 원신호를 복호해낼 확률  $q_1$ 은 다음과 같이 주어진다<sup>(9)</sup>.

$$q_1 = \frac{q_0 - y}{1 - y}. \tag{21}$$

패리티 비트를 수신한 후 원래의 정보를 복호하지 못할 확률은 수신신호가 검출 불가능한 에러패턴을 가질 확률과 정정 불가능한 에러패턴을 가질 확률의 합이 되므로

$$P_r(E_1^s | A_0^d) = P_e + P_d(1 - q_1). \tag{22}$$

이 된다.

그러므로 각각의 경우를 식 (18)에 대입하면 최종 오율식은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_r(E) = P_e + P_d(P_e + P_d(1 - \frac{q_0 - y}{1 - y})). \quad (23)$$

전파지연 (propagation delay) 을  $T_p$ , 채널의 데이터율 (data rate) 을  $R_d$ , 블록 길이 (block length) 를  $n$ , ACK (또는 NAK) 시간을  $T_a$ 라 할때 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시의 전송지연 (transmission delay)  $D_t$ 는 다음과 같다<sup>(10)</sup>.

$$D_t = T_p + \frac{n}{R_d} + (2T_p + T_a + \frac{n}{R_d})P_d. \quad (24)$$

#### 4. 수치계산 결과 및 검토

앞에서 유도한 SFH-CDMA/FSK 신호의 오류식과 Truncated Type-II Hybrid ARQ와 MRC 다이버시티 기법을 채용할 때의 오류식을 비트에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 ( $E_b/N_0$ ), 홉 (hop) 당 데이터

비트수 ( $N_b$ ), 호핑수 ( $q$ ), 사용자수 ( $K$ ) 다이버시티 가지수 ( $L$ ), 페이딩 지수 ( $m$ ) 및 에리검출 부호  $C_0$ , 에리정정 부호  $C_1$  등을 함수로 하여 수치 계산한 결과를 그림 2~그림 7에 나타내었다. 단, 편의상 모든 경우에서  $K=30, N_b=100, q=1000$ 이고  $m=1,3(K_r=0, 4.45$ 에 해당)인 경우만을 고려하였다.

그림 2는 나카가미 페이딩 ( $m=1, 3$ ) 하에서 SFH-CDMA/FSK 신호에 BCH (63, 45) 부호와 MRC 다이버시티 기법을 채용한 경우의 오류특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 개선기법을 사용하지 않은 경우는  $E_b/N_0$ 를 40 dB 이상 증가시켜도  $1 \times 10^{-3}$  이하의 오류특성을 얻을 수 없어 신뢰성 있는 통신이 불가능하지만, 개선기법으로서 BCH (63, 45) 채널 부호화 기법과 다이버시티 기법을 채용하면 시스템의 성능이 어느 정도 개선됨을 알 수 있다. 그러나 이 경우에도 역시  $E_b/N_0$ 를 40 dB 이상 증가시켜도 데이터 통신과 같은 고신뢰도의 시스템에서 요구하는  $1 \times 10^{-6}$  이하의 오류특성을 얻을 수 없으므로 다른 개선책이 요구된다.

그림 3은 나카가미 페이딩 ( $m=1, 3$ ) 하에서 성능개선 기법으로서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기

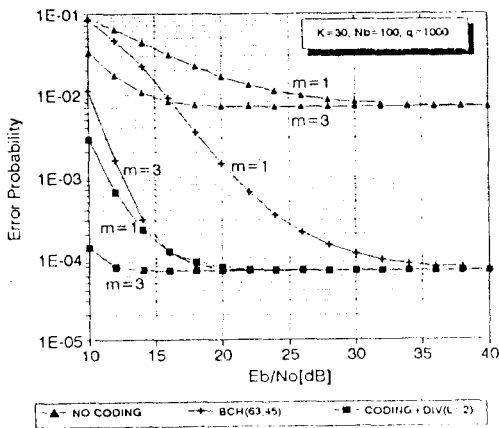


그림 2. 나카가미 페이딩 하에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 채용하는 SFH-CDMA/FSK 신호의 오류 특성 ( $m=1,3, L=2$ )

Fig 2. Error probability of SFH-CDMA/FSK signal adopting BCH coding and MRC diversity techniques in Nakagami fading channel ( $m=1,3, L=2$ ).

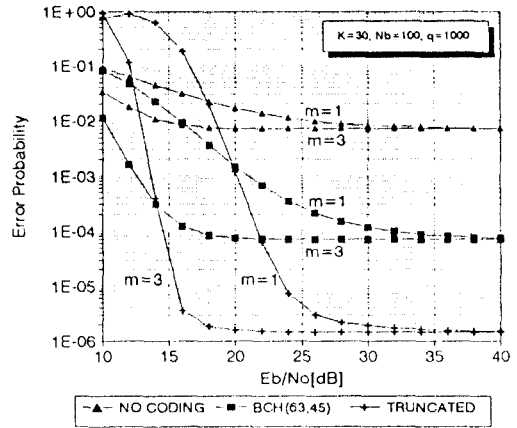


그림 3. 나카가미 페이딩 하에서 Truncated Type-I Hybrid ARQ 기법을 채용하는 SFH-CDMA/FSK 신호의 오류 특성 ( $m=1,3$ )

Fig 3. Error probability of SFH-CDMA/FSK signal adopting Truncated Type-I Hybrid ARQ technique in Nakagami fading channel ( $m=1,3$ ).

법을 채용한 경우의 오율특성을 나타낸 것이다. 레일리 페이딩 환경에 해당하는  $m=1$  ( $K_r=0$ 에 해당) 일 때  $E_b/N_0$ 가 20 dB 이하일 경우 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용할 때보다 BCH 부호화 기법을 채용할 때가 신호의 성능개선에 더 효과적이지만, 20 dB 이상에서는 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법이 더 효과적임을 알 수 있다. 이에 비해  $m=3$ 인 페이딩 환경에서는 더 낮은  $E_b/N_0$  (약 14 dB) 에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 의한 성능 개선 효과가 나타난다.

그림 4는 성능개선 기법으로서 Truncated Type-II Hybrid ARQ와 MRC 다이버시티 기법을 함께 채용했을 때의 오율특성을 나타낸 것으로서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 페이딩의 보상기법으로 다이버시티를 채용하면 그 개선정도는 더 커지며,  $E_b/N_0=15$  dB 정도에서  $1 \times 10^{-5}$  이하의 오율특성을 얻을 수 있다. 또한 그림 3의 경우와 비교하여 더 낮은  $E_b/N_0$ 에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법에 의한 성능개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

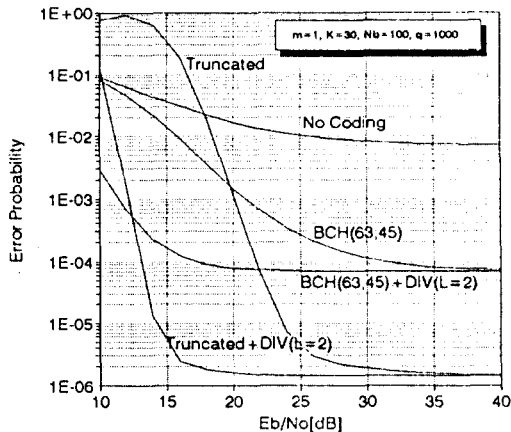


그림 4. 나카가미 페이딩 하에서 Truncated Type-II Hybrid ARQ와 MRC 다이버시티 기법을 채용하는 SFH-CDMA/FSK 신호의 오율 특성 ( $m=1, L=2$ )

Fig 4. Error probability of SFH-CDMA/FSK signal adopting Truncated Type-II Hybrid ARQ and MRC diversity techniques in Nakagami fading channel ( $m=1, L=2$ ).

그림 5는 레일리 페이딩 ( $m=1$ ) 하에서 SFH-CDMA/FSK 신호에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법과 MRC 다이버시티 기법을 함께 채용할 때, 에러 검출 능력에 따른 오율특성을 나타낸 것이다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시 에러 검출 능력이 높은 부호를 사용할수록 그 개선 효과는 현저히 증가함을 알 수 있다. 그러나 무조건 에러검출 능력이 우수한  $C_0$  부호를 사용하는 것보다는 실제 시스템에서 요구하는 에러율에 적합한  $C_0$  부호를 선택하는 것이 바람직하다. 즉, 그림에서 보는바와 같이  $1 \times 10^{-6}$ 의 신뢰성을 요구하는 시스템에서는 용장성이 높은 (127, 99) 부호보다 (127, 106)의 부호를 사용하는 것이 더 효과적임을 알 수 있다. 또한 그림 4와 그림 5로부터 같은 에러정정 능력을 갖는 BCH (63, 45) 부호와 BCH (127, 106)의 오율특성을 비교해 보면 BCH(63, 45) 부호의 오율특성이 우수하나 각각의 부호에 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용했을 때에는 (127, 106) 부호의 오율특성이 더 우수함을 알 수 있다. 이는  $C_1$  부호의 에러정정 능력이 상대

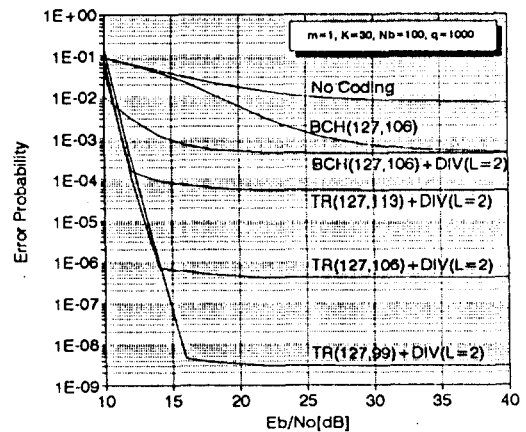


그림 5. 나카가미 페이딩 하에서 Truncated Type-I Hybrid ARQ와 MRC 다이버시티 기법 채용시 에러 정정 능력에 따른 SFH-CDMA/FSK 신호의 오율 특성 ( $m=1, L=2$ )

Fig 5. Error probability of SFH-CDMA/FSK signal adopting Truncated Type-I Hybrid ARQ and MRC diversity techniques as a function of error correction capability in Nakagami fading channel ( $m=1, L=2$ ).



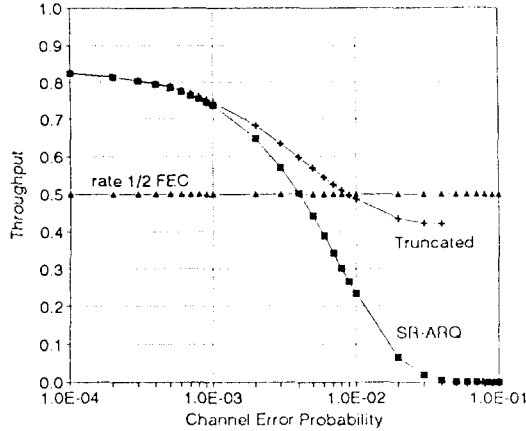


그림 6. 부호율이 1/2인 FEC, SR-ARQ 및 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법의 throughput 비교  
Fig 6. Throughput comparison of 1/2 rate FEC, SR-ARQ and Truncated Type-II Hybrid ARQ techniques.

적으로 증가하기 때문이다.

그림 6은 부호율이 1/2인 FEC를 이용할 때와 ARQ 기법 중 가장 널리 사용되는 SR (Selective Repeat)-ARQ 및 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용할 때의 throughput을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 부호로서는 BCH (127, 106)을 사용한 경우이다. 이 그림으로부터 채널의 에러율이 낮은 경우 ( $1 \times 10^{-2}$  이하)에는 오히려 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용할 때가 부호율이 1/2인 FEC 기법을 채용할 때보다 throughput이 우수하다. 그리고 채널의 에러율이 증가하면 FEC 기법을 채용할 때의 throughput은 0.5로 일정하게 되는 반면 ARQ 기법을 채용할 때의 throughput은 급격히 감소한다. 이는 채널의 에러율이 높아짐에 따라 재전송 횟수가 증가하기 때문이다. 그러나 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법은 재전송 횟수를 한번으로 제한하고 있기 때문에 채널의 에러율이 증가하더라도 FEC 기법을 채용할 때의 throughput과 차이가 적음을 알 수 있다. 따라서 채널의 에러율이 매우 높은 경우를 제외하고는

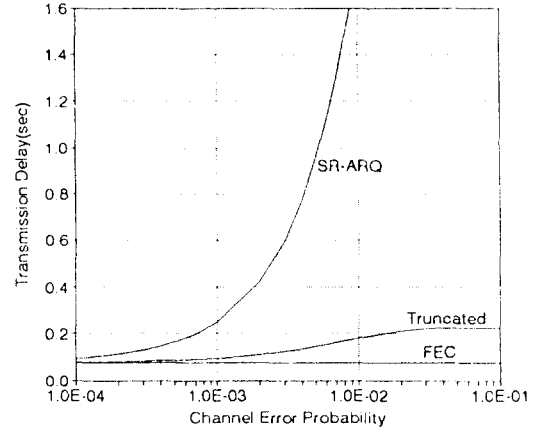


그림 7. FEC, SR-ARQ 및 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법의 전송지연 비교 ( $R_d=4800$ bps,  $n=127$ ,  $T_p=50$ ms,  $T_a=20$ ms)  
Fig 7. Transmission delay comparison of FEC, SR-ARQ and Truncated Type-II Hybrid ARQ techniques ( $R_d=4800$ bps,  $n=127$ ,  $T_p=50$ ms,  $T_a=20$ ms).

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법이 FEC 기법보다 throughput면에서 성능이 더 우수하다.

그림 7은 채널의 데이터 율을  $R_d=4800$  bps, 부호길이를  $n=127$ , 전파지연 (propagation delay) 을  $T_p=50$  ms, ACK (또는 NAK) 시간을  $T_a=20$  ms라 할 때 FEC, SR-ARQ, Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 각각 채용할 때의 전송지연을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 채널의 에러율이 증가할수록 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법과 FEC 사이의 전송지연은 점점 차이가 나다 어느 일정한 값을 유지하지만 그다지 크지 않지만, SR-ARQ 기법과 FEC 사이에는 전송지연의 차이가 큼을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 AWGN과 다중접속 간섭 (MUI) 및 나카가미 (Nakagami) 페이딩 환경으로 모델링되는 이동통신 채널에서 SFH-CDMA/FSK 신호에 대한 성능 개선책을 위해 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기

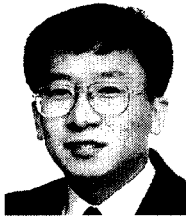
법과 MRC 다이버시티 기법을 채용했을 때의 오류율과 throughput을 유도하고 이를 이용하여 수치 계산한 결과를 그래프로 나타내고 이에 대해 검토하였다.

성능 개선책으로 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용할 때가 FEC 기법을 채용할 때 보다 더 우수하였으며, 특히 다이버시티 기법과 에러검출 능력이 높은 부호를 사용할수록 그 개선효과는 현저히 증가함을 알 수 있었다. 시스템의 신뢰성은 에러검출에 이용되는  $C_0$  부호와 에러정정에 이용되는  $C_1$  부호 모두에 의해 결정되므로 시스템에서 요구하는 에러율에 적합하도록  $C_0$ ,  $C_1$  부호를 선택해야 한다. Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법은 SR (Selective Repeat) -ARQ 기법에 비해 전송 지연이 작고 throughput이 높고, FEC 기법에 비해 신뢰성이 높으므로 효율적인 전송에러의 제어와 실시간 (delay-limited) 처리 및 고신뢰도가 요구되는 이동통신 시스템과 무선 데이터 통신 시스템에 적용할 수 있으리라고 판단된다.

### 참고문헌

1. R. L. Pickholtz, L. B. Milstein, and D. L. Schilling, "Spread spectrum for mobile communications," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-40, no. 2, pp.313-322, May, 1991.
2. N. Livneh, R. Meidan, M. Ritz, and G. Silbershatz, "Frequency hopping CDMA for future cellular radio," in 42nd IEEE Veh. Technol. Con., (Denver, USA) pp.400-404, May, 1992.
3. D. J. Purle, S. C. Swales, M. A. Beach, and J. P. McGeehan, "Frequency hopped CDMA for third generation mobile radio systems," in 43rd IEEE Veh. Technol. Con., 9 (New Jersey, USA) pp.692-695, May, 1993.
4. M. B. Pursley and W. E. Stark, "Performance of Reed-Solomon coded frequency-hopped spread-spectrum communications in presence of partial-band interference," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, pp.767-774, Aug. 1985.

5. E. A. Geraniotis and M. B. Pursley, "Error probability for slow-frequency-hopped spread-spectrum multiple-access communications over fading channel," IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, pp.996-1009, May, 1982.
6. E. A. Geraniotis and J. W. Gluck, "Coded FH/SS communications in the presence of combined partial-band noise jamming, Rician non-selective fading, and multiuser interference," IEEE J. Slect. Areas Commun., vol. SAC-5, pp.194-213, Feb. 1987.
7. C. H. Oh, S. E. Cho, and S. J. Cho, "Performance evaluation of SFH-CDMA/FSK signal with channel coding and diversity reception techniques in mobile communication channel," Proc of JTC-CSCC '94 (Kongju, Korea), pp.162-167, July., 1994.
8. S. Lin and P. S. Yu, "A hybrid ARQ scheme with parity retransmission for error control of satellite channels," IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, pp.1701-1719, July, 1982.
9. Y. M. Wang and S. Lin, "A modified selective-repeat type-II hybrid ARQ system and its performance analysis," IEEE Trans. Commun., vol. COM-31, pp.593-608, May, 1983.
10. Q. Yang and V. K. Bhargava, "Delay and coding analysis of a truncated type-II hybrid ARQ protocol," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-40, no. 1, pp.22-32, Feb. 1993.
11. E. Al-Hussaini and A. Al-Bassiouni, "Performance of MRC diversity systems for the detection of signals with Nakagami fading," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, no. 12, pp.1315-1319, Dec. 1985.
12. P. J. Crepeau, "Uncoded and coded performance of MFSK and DPSK in Nakagami fading channels," IEEE Trans. Commun., vol. 40, no. 3, pp.487-493, March, 1992.
13. 清川敏彦, 恵井重彦, 通信方式, (日本) 森北出版株式会社, 1990.



吳昌憲(Chang Heon Oh) 정회원

1965년 2월 10일생.

1984년 3월~1988년 2월 : 한국항공  
대학교 항공통신정보공  
학과 졸업(공학사).

1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공  
대학교 대학원 항공통신  
정보공학과 졸업(공학석  
사).

1991년 3월~1994년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자  
공학과 박사과정 수료.

1990년 2월~1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소

1993년 10월~현재 : 삼성전자(주) 통신개발실  
근무



朴相勳(Sang Hoon Park) 정회원

1969년 1월 13일생.

1988년 3월~1993년 2월 : 한국항공  
대학교 항공통신정보공  
학과 졸업(공학사).

1993년 3월~1995년 2월 : 한국항공  
대학교 대학원 항공통  
신정보공학과 졸업(공  
학석사).

1995년 2월~현재 : 삼성전자(주) 근무



趙成俊(Sung Joon Cho) 종신회원

1946년 1월 9일생.

1965년 4월~1969년 2월 : 한국항공  
대학교 항공통신  
공학과 졸업(공학사).

1973년 4월~1975년 2월 : 한양대학  
교 대학원 졸업(공학석  
사).

1977년 4월~1981년 3월 : 오사카대학 대학원 통신공학과 졸  
업(공학박사).

1969년 4월~1972년 7월 : 해군기술통신장교

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교  
수.