# 임펄스 잡음과 무선통신로 채널 환경에서 DS/FH-CDMA 시스템의 성능 해석

정회원 김 지 웅*, 강 희 조*, 이 권 현**

# Performance Analysis of DS/FH-CDMA Systems in Impulsive Noise and Wireless Radio Communication Channel Environment

Ji-Woong Kim*, Heau-Jo Kang*, Kwon-Hyun Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 무선통신로 채널상에 존재하는 가우스 잡음을 포함한 협대역 A급 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 하이브리드 DS/FH-CDMA MFSK시스템의 성능을 비교 분석하고, 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 수신 기법과 부호화 기법을 동시에 채용함으로써 고려되어진 시스템의 성능을 개선시켰다.

결과에 의하면 임펄스 지수가 강할수록 또한, 페이딩 지수가 작을수록 하이브리드 DS/FH-CDMA 시스템에서는 성능이 더욱 열화 됨을 알 수 있었고, 성능 개선 기법으로 BCH 부호화 기법을 채용했을 경우 페이딩 지수가 증가할수록 성능개선의 폭이 큼을 알 수 있었다. 페이딩 지수가 작은 열악한 환경에서는 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용하였을 경우 시스템 성능이 우수하였지만, 페이딩 영향이 감소할수록 BCH 부호화 기법을 채용하였을 경우 시스템 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 레일리 페이딩 환경에서 각각의 성능개선 기법을 단독으로 채용하였을 경우, 음성서비스 품질($10^{-3}$)에 도달할 수 없지만, BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티를 동시에 채용함으로써 강한 임펄스 잡음 하에서도 24$dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능 개선 효과를 얻을 수 있었고, 페이딩 지수가($m_i$=3) 이상에서는 강한 임펄스 잡음이 부가되어도 21$dB$에서 $10^{-3}$을 만족하고 28$dB$ 이상에서는 데이터 서비스 기준($10^{-5}$) 오율을 만족하는 우수한 성능 개선 효과를 보임으로써 다이버시티 가지수와 부호화의 이득에 의한 에러 성능이 향상되었다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of Hybrid DS/FH-CDMA MFSK system has been analyzed in the environment that narrowband Class-A impulsive noise include Gaussian noise in wireless communication channel and Nakagami fading. The performance of system improved to adopting both of technique MRC diversity and BCH channel coding.

The results show that there is substantial degraded in Hybrid DS/FH-CDMA system performance by impulse index is stronger and the fading index is smaller. But also improvement can be obtained when BCH coding techniques are adopted. Additional MRC diversity techniques is more improvement than BCH coding techniques when degraded environment with the low fading index. But BCH coding techniques is more improvement than MRC diversity techniques when fading index has been increased. The Hybrid DS/FH-CDMA MFSK system is incomplete to voice communication standard BER($10^{-3}$) in Rayleigh fading by independent each adopting techniques BCH coding and MRC diversity. But it's satisfy(improvement can be obtained) to voice communication standard BER in strong impulse noise(24$dB$ over) by adopting techniques BCH coding and MRC diversity at a time. Additional it's a substantial enhancement ($10^{-3}$ satisfaction) in fading index($m_i$=3, 21$dB$) in

* 동신대학교 전기전자공학부 ** 도립담양대학 초고속정보통신공학부
논문번호 : 00308-0731, 접수일자 : 2000년 7월 31일

addition to strong impulse noise and 28*dB* over with data service standard ($10^{-3}$)BER satisfaction. This result show that there is error performance improved by diversity branch and coding advantage.

## Ⅰ. 서 론

최근 들어 사회생활이 복잡해지고 고도화됨에 따라 다수의 이용자들에게 고품질의 무선 통신서비스를 제공할 수 있는 무선 데이터 통신시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 상용화되고 있는 음성통신 서비스 위주의 DS/CDMA 이동통신방식에서는 보다 많은 통신 사용자를 수용하기 위한 용량증대 방안이 연구 개발 중이나, 향후에는 다양한 멀티미디어 데이터 서비스가 요구되는바 고속 데이터 서비스가 가능한 DS-CDMA 이동통신 방식이 요구되고 있다. 이러한 통신시스템의 채널상의 주된 문제로는 잡음과 페이딩을 들 수 있는데 잡음으로서는 인공적인 잡음이든 자연적인 잡음이든 그것을 해석하는데 있어 용이한 잡음 모델을 결정하는 것이다. 잡음 모델을 해석하는 이유는 우선 잡음 환경의 실제적이고 정량적인 표현을 하고, 그러한 잡음 환경하에서 시스템을 구현하는데 있어 척도가 되며, 단말기가 이동하는 환경에 발생하는 페이딩을 고려한 다양한 변조방식에 의한 최적 통신 시스템을 결정하고 그들의 성능을 비교 분석하는데 있다.

FH/CDMA 시스템의 성능 분석에 관한 기존의 연구로서는 Geraniotis 등[1]은 비선택성 페이딩과 WSSUS(Wide Senes Stationary Uncorrelation Scattering) 페이딩 환경 하에서 시스템 한계용량과 오율을 해석하였고, Roberton 등[2]은 부분대역 간섭과 잡음이 존재할 때 Rician 페이딩 환경에서 반복 다이버시티 기법을 사용하는 비동기 FH/MFSK 신호의 오율을 해석하였으며, Roberton 등[3]은 반복 다이버시티 기법과 RS 부호화와 컨벌루션 부호를 이용할 때의 오율 식을 해석하였다. 앞서의 연구자들에 의해서 이루어진 연구에서는 대역 확산 시스템에서 페이딩 채널에서 시스템의 성능 개선 기법에 대하여 분석하였다.

하이브리드 스펙트럼 확산방식은 직접 스펙트럼 확산방식과 주파수 도약 확산방식의 혼합방식으로서 각각의 방식의 장점을 이용하는 방식인데 혼합하므로서 더 큰 전송 대역폭을 얻을 수 있다. DS-CDMA방식은 전파 경로에 따른 서로 다른 전력 레벨로 인한 원근 문제를 위해서 평균전력 제어가 필요하고, FH-CDMA방식은 다중 채널 간섭에 약하다. DS/FH-CDMA 혼합 방식은 직접 스펙트럼 확산된 신호의 반송 주파수가 주기적으로 도약하는 방식이다. PN신호에 의해 전력 레벨이 아주 낮고 넓은 주파수 확산 DS된 신호 대역이 전체 전송 주파수 대역의 일부분을 이루는데 이 스펙트럼 확산된 신호 대역이 PN부호 발생기의 FH 패턴에 따라 수신한 후 PN신호로 역확산시켜 기존의 복조 방식에 따라 정보 신호를 복원한다. 이 방식을 이용하면, 주파수 대역이 크게 확장되어 다원 접속의 효과를 더욱 높일 수 있으나 송수신기가 복잡해지는 단점이 있다[4],[5]. 본 논문에서는 레일리 페이딩과 Rician 페이딩 등을 모두 포함할 수 있고 페이딩 지수 값의 변화에 따라 쉽게 레일리 페이딩과 Rician 페이딩 등을 나타낼 수 있으며, 실내·외를 모두 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 이동 통신과 위성통신에도 적용할 수 있는 페이딩 모델로서 나카가미 페이딩을 도입하였다.

종래의 디지털 전송 시스템에서는 잡음 모델을 주로 잡음이 전대역에 걸쳐 분포하는 가우스성 잡음을 사용하여 왔다. 그러나 현대에 와서 자동차의 점화 잡음이나 송·배전선으로부터 발생되는 방전 잡음, 각종 전자 제품으로부터의 잡음 등과 같이 임펄스적인 성질을 갖고있는 인공적인 잡음이 급속도로 증가하고 있다. 특히 각종소자가 집적화 되고 소전류화 되고 있는 추세에서 이들 임펄스성 잡음의 영향은 통신시스템의 해석에서는 중요한 의미를 갖는다. 즉, 임펄스적인 성질을 갖는 잡음을 종래의 가우시안 채널 환경에 적용하기에는 부적절하다.

따라서, 본 논문에서는 고도정보화 사회에 따른 정보기계들의 범람으로 인하여 디지털 무선통신계에서 채널 상에 존재하는 가우스 잡음을 포함하는 Middleton의 A급 협대역 임펄스 잡음뿐만 아니라 단말기의 이동으로 인하여 발생하는 페이딩 환경에서 하이브리드 DS/FH-CDMA 무선 통신시스템의 성능을 분석하였으며, 성능 개선 기법으로는 수신단에서 임펄스 잡음을 제거하기 위하여 부호화 기법을 도입하였다. 또한, 페이딩에 대한 보상으로 MRC 다이버시티 수신기법을 채용하여 무선 통신시스템의 성능의 개선 정도를 비교 분석하였다.

## Ⅱ. 시스템 모델

여기서는 DS/FH-CDMA의 시스템 모델을 설정한

다. 그림1에 있어서 총 유저수 K유저가 연속적으로 송신하고 있는 상태를 가정하고 있고, 상단은 제 $k$ 유저의 송신기, 하단은 $i$유저(희망파 유저)의 수신기이다.

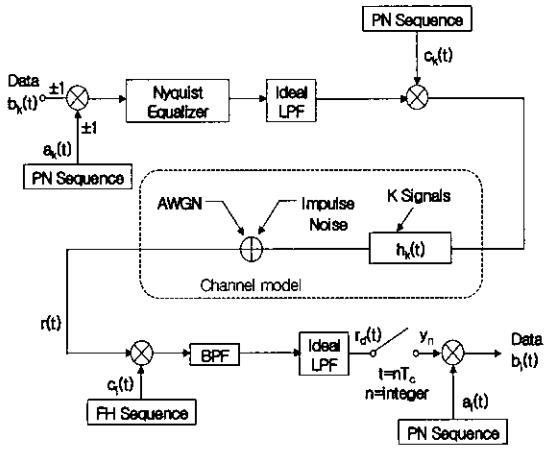



그림 1. DS/FH-CDMA의 송수신기 구성

## 2.1 송신기모델

제 $k$ 사용자 ($1 \le k \le K$)의 송신기에서는, 최초로 진폭1, 비트폭 $T$를 가진 방형파 계열로 부터 만들어진 정보신호 $b_k(t)$에, 진폭1, 칩폭 $T_c$를 가진 방형파 계열로부터 만들어진 주기 $N$의 직접 확산 부호 $a_k(t)$를 곱한다. 이것에 의해, 대역제한 되어 있지 않은 직접확산 MFSK 신호를 얻는다. 여기서 $T = nT_C$이고, 확산부호의 1주기 분이 1정보 비트에 할당되어 있는 것으로 한다.

이하에 직접확산신호 $a_k(t)$ 및 정보신호 $b_k(t)$를 나타낸다.

$$a_k(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{k,m} P_{Tc}(t - mT_c) \tag{1}$$

$$b_k(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} b_{k,m} P_T(t - mT) \tag{2}$$

$$a_{k,m}(t) = a_{k,m}(t) + N \tag{3}$$

여기서 계열 $b_{k,m}$은, 제 $k$ 사용자의 정보계열이다. 또 $a_{k,m}$은 제 $k$ 사용자의 직접확산부호이고, 식(3)에 나타낸 것처럼 그 부호길이는 $N$이라고 한다. 어느 쪽의 계열도 ±1의 2값을 얻는 것으로 한다. 폭 $T$의 고립 방형파 펄스 신호 $P_T(t)$는 다음과 같은 신호이다.

$$P_T(t) = \begin{matrix} 1: |t| \le \frac{T}{2} \\ 0: \text{otherwise} \end{matrix} \tag{4}$$

다음으로 직접확산 신호를, 1 칩 파형에 대응하는 나이퀴스트 필터로 파형을 정형한 후, 이상대역필터에 의한 대역제한을 한다.

필터링 된 신호는, 주파수 합성기에서 출력되어진 국부발진신호와 곱하여 도약되어서 송신된다. 변환 가능한 반송파의 수는 전부 $q$개다. 주파수 합성기에서는, 주파수 도약 계열에 따라서 반송파가 합성되고, 출력신호는 다음과 같이 된다.

$$c_k(t) = \cos(\omega_k(t)t + \phi_k(t)) \tag{5}$$

$$\omega_k(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \omega_{k,m} \cdot P_{Th}(t - m T_h) \tag{6}$$

$$\omega_{k,m}(t) = \omega_{k,m}(t) + q - 1 \tag{7}$$

여기서 $\omega_{k,m}$은 제 $k$유저의 FH계열을 나타내고, 식(7)에 나타낸 것같이, 주기는 $q-1$ 이다. 또 $T_h$는 호핑의 시간간격이고, 본 논문에서는 호핑으로서는 하나의 주파수에 체재하는 사이에 $N_b$비트의 정보를 전송하고, $T \le T_h(=N_b T)$로 되는 저속 호핑을 가정하고 있다. $\phi_k(t)$는 제 $k$사용자의 주파수 신서사이저에 의한 랜덤위상인 h번째의 호핑 주파수에 체제하는 사이는 일정치 $\phi_k^{(h)}$를 얻는다. 직접확산 부호로는 상호상관 특성이 우수한 골드 계열을 이용하고, 또, 페이딩만을 고려하기 위해 자기상관 특성을 나타내기 쉬운 M계열에서 검토를 한다. FH의 부호에는 리드 솔로몬 호핑 계열을 이용한다.

## 2.2 통신로 모델

통신로 모델로써는 레일리 분포에 따라 변동하는 멀티패스 경로로 가정한다. 일반적으로 이동 통신의 전파전반에 있어서 단일구간에 일어나는 전계 강도의 변동은 지형과 건조물 등의 반사에 의한 레일리 변동만이 아니라, 건물의 차단에 의한 대수정규분포에 따른 변동이 있지만, 광대역 방식에의 적용을 고려하여, 타국에서의 간섭은 희망국과 같은 대역 내에 한정하는 것으로 한다. 제 $k$사용자 통신로의 등가 저역 필터를 다음 식으로 표시한다.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{k,l} \cdot \exp(-j\gamma_{k,l}) \cdot \delta(t - t_{k,l}) \tag{8}$$

여기서 $L_k$는 패스의 수, $\beta_{k,l}$은 경로이득, $\gamma_{k,l}$은

위상, $t_{k,l}$은 경로의 지연시간이다. 서로 다른 두 개 경로의 지연 시간차는 $T_c$ 이상이라고 한다[6].

$$p_{\beta kl}(a)=2\left(\frac{m_i}{\Omega}\right)^{m_i}\frac{a^{2m_i-1}}{\Gamma(m_i)}\exp\left(-\frac{m_i}{\Omega}a^2\right),\quad a\geq 0 \quad (9)$$

단, $m_i=\dfrac{\Omega^2}{E[((a)^2-\Omega)^2]}\geq\dfrac{1}{2}$ 나카가미 페이딩 파라미터이고 $\Omega=E[(a)^2]$이다.

### 2.3 수신기 모델

수신측 에서는 식(8)으로 표현되어지는 통신로를 거쳐서 $k$개의 신호를 수신한다. 수신신호는 잡음을 더해 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{k=1}^{K}\sqrt{2P_k}\sum_{l=1}^{L_k}Re[\beta_{k,l}\cdot\exp(-j\gamma_{k,l}) \\ &\quad\cdot\sum_{m=-\infty}^{\infty}a_{k,m}b_{k,m'}g_T(t-mT_c-\tau_{k,l}) \\ &\quad\cdot\exp\{j\Phi_{k,l}(t-\tau_{k,l})\}]+n(t) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Phi_{k,l}(t)=(\omega_o+\omega_k(t))t+\theta_k+\phi_k(t),\quad m'=[\frac{m}{N}].$$

여기서, 계열 $b_{k,m'}$는 제 $k$사용자의 $m'$번째 정보계열이고, [x]는 x를 초과하지 않는 최대의 정수를 나타내는 함수이다. $a_{k,m}$은 $k$ 사용자의 $m$번째의 직접확산계열, $R_k$는 신호 수신전력, $g_T(t)$는 송신 필터의 폭 $T_c$의 방형파에 대한 응답 파형이다. 또 $\tau_{k,l}$ 은 간섭파 신호의 희망파 신호에 대한 지연시간이고, $\tau_{k,l}=\tau_{k,0}+t_{k,l}$이다. $n(t)$는 편측 전력밀도 $N_o$의 백색가우스 잡음 성분이다. 또 $\theta_k$는 반송파의 초기 위상각, $\phi_k(t)$는 송신측에서 주파수 합성기에 의한 랜덤위상이다.

지금, $i$ 번째 사용자의 $(1\leq i\leq k)$의 d번째의 멀티신호를 희망파로써 수신하는 경우로 고려한다. 수신기에서는 먼저 주파수 도약의 역 확산을 행하고, 신호를 중심주파수 $\omega_o$에 주파수로 변환한다. 이것은 수신신호와 수신기의 주파수 신서사이저에서 생성한 신호를 곱하는 것에 의하여 행하여진다. 그 위에 그 신호에 반송주파수 $\omega_o$의 반송파를 곱하여 베이스밴드로 떨어뜨린다. 수신신호 통과 후의 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} r_d(t) &= \sum_{k=1}^{K}\sqrt{\frac{P_k}{8}}\beta_{k,l}\sum_{l=1}^{L_k}\sum_{m=-\infty}^{\infty}a_{k,m}b_{k,m'} \\ &\quad\cdot g(t-mT_c-\tau_{k,l})\delta(w_k(t-\tau_{k,l})),w_i(t)) \\ &\quad\cdot\cos(\Phi_{k,l}(t))+n'(t) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Phi'_{k,l}(t) &= \theta_k-(\omega_o+\omega_k(t-\tau_{k,l}))\tau_{k,l} \\ &\quad+\phi_k(t-\tau_{k,l})-\phi'_i(t)+\gamma_{k,l} \end{aligned}$$

단, $g(t)$는 송신필터 $g_T(t)$와 수신필터 $g_R(t)$의 시간간격에서의 겹친 적분 $g(t)=g_T(t)*g_R(t)$이고, $\phi'_i(t)$는 희망국 수신측의 합성기에 의한 랜덤위상이다. 또 $\delta(\cdot,\cdot)$는 다음과 같은 관계를 나타내는 함수이다.

$$\delta(u,v)=\begin{bmatrix}1: u=v\\ 0: u\neq v\end{bmatrix} \quad (12)$$

그래서 이 베이스 밴드로 떨어진 희망 신호에 대해서 칩 레벨의 동기를 맞춰 각 칩의 중앙에서 신호의 표준화를 행하고 직접확산 부호를 곱하여 직접확산의 역 확산을 행한다. 표본화의 과정에서는 양자화는 하지 않고 아날로그 값 그대로 신호를 처리하는 것으로 한다. 직접확산의 역 확산은 다음과 같다.

$$\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}a_{k,n}\cdot y_n \quad (13)$$

희망신호에 대해서 직접확산의 역 확산을 행한 후의 출력성분은 동기가 이상적이라고 가정하면(2), (3) $\tau_{i,d}=\Phi_{i,d}=0$ 이 되는데 다음과 같이 된다.

$$Z_{i,d}=\sqrt{\frac{P_i}{8}}\beta_{i,d}\cdot b_{i,o} \quad (14)$$

희망국의 다중경로신호 성분은, 다음의 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} Z_{i,l} &= \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sqrt{\frac{P_i}{8}}\beta_{i,l}a_{i,m}b_{i,m'}a_{i,n} \\ &\quad\cdot g(nT_c-mT_c-\tau_{i,l}) \\ &\quad\cdot\delta(w_i(nT_c-\tau_{i,l}),w_i(nT_c)) \\ &\quad\cdot\cos(\Phi_{i,l}(nT_c)) \\ \Phi_{i,l}(t) &= \theta_i-(w_o+w_i(t-\tau_{k,l}))\tau_{i,l} \\ &\quad+\phi_i(t-\tau_{i,l})-\phi'_i(t)+\gamma_{i,l} \end{aligned} \quad (15)$$

같은 형태로, 제 $k$사용자의 다중경로 성분은 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} Z_{k,} &= \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sqrt{\frac{P_k}{8}}\beta_{k,l}a_{k,m}b_{k,m'}a_{i,n} \\ &\quad\cdot g(nT_c-mT_c-\tau_{k,l}) \\ &\quad\cdot\delta(w_k(nT_c-\tau_{k,l}),w_i(nT_c)) \\ &\quad\cdot\cos(\Phi_{k,l}(nT_c)) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\Phi_{k,l}(t) = \theta_k - (w_o + w_k(t-\tau_{k,l}))\tau_{k,l} + \phi_i(t-\tau_{k,l}) - \phi_i'(t) + \gamma_{k,l}$$

따라서, 수신기단에서의 전 신호출력은 다음과 같이 된다.

$$Z = Z_{i,d} + \sum_{k=1(k\neq i)}^{K} \sum_{l=1}^{L_k} Z_{k,l} + \sum_{l=1(l\neq d)}^{L_i} Z_{i,l} + Z_{awgn,d} \quad (17)$$

단, $Z_{awgn,d}$ 는 가우스 잡음의 출력성분이고, 평균0, 분산 $\sigma^2 = N_o/16nT_c$ 의 가우스 분포를 이룬다. 이렇게 해서 얻어진 수신출력 신호 극성의 정·부에 의해 송신된 부호를 결정한다.

### 2.1 임펄스 잡음

가우스 잡음을 포함하는 임펄스 잡음의 포락선에 대한 확률밀도함수는 Middleton이 제안한 3가지의 임펄스 잡음 모델로 나타낼 수 있다. 첫째로는 수신기의 대역필터의 통과대역폭 보다 좁은 주파수 성분을 가지는 협대역 잡음 A급, 둘째로는 수신기의 대역필터의 통과대역폭 보다 넓은 주파수 성분을 가져서 임펄스의 통과 응답 특성 즉, 신호의 지연, 감쇄, 진동 등이 생겨 수신기에 비교적 장시간 영향을 미치는 광대역 잡음 B급, 마지막으로 A급과 B급이 임펄스가 혼합된 형태의 C급이 있다.

본 논문에서는 가우스 잡음을 포함하는 Middleton의 협대역 A급 임펄스 잡음을 채택한다. 대역통과필터를 통과한 A급 협대역 임펄스 잡음의 순시포락선에 대한 확률 밀도함수는 다음과 같이 주어진다[6].

$$p(N) = \frac{e^{-A}}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_j^2} \cdot \exp\left(-\frac{N^2}{2W\sigma_j^2}\right), \quad N \geq 0 \quad (18)$$

단, $W(=\sigma_G^2 + \Omega_I)$ ; 전체 잡음전력,

$A$ ; 임펄스 지수,

$N$ ; 임펄스 잡음의 순시 포락선,

$\sigma_j^2 = (j/A + \Gamma')/(1+\Gamma')$,

$\Gamma'(=\sigma_G^2/\Omega_I)$ ; 가우스 잡음 대 임펄스 잡음 전력비.

식(1)을 직교 좌표계로 나타내면 다음과 같다.

$$p(x) = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{1}{\sqrt{2\pi W\sigma_j^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2W\sigma_j^2}\right) \quad (19)$$

여기에서 잡음전력 $W$가 일정하다고 할 때 전체 잡음 전력 중에서 임펄스 잡음 전력성분이 크거나 (즉, $\Gamma'$ 값이 작거나) 임펄스의 발생빈도 $A$가 작을수록 임펄스성이 강한 잡음이 된다. 이를 그림 2에 나타낸다.

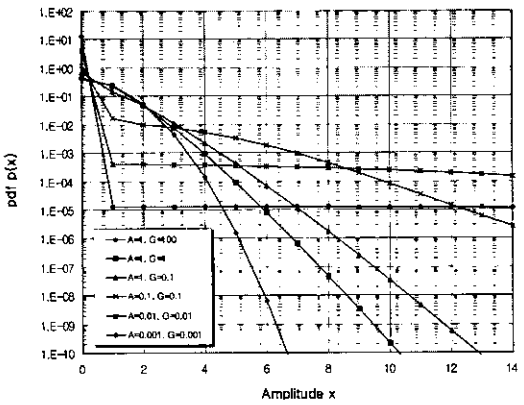



그림 2. A급 협대역 임펄스 잡음의 p.d.f.(G= $\Gamma'$)

DS/CDMA 시스템은 대역확산 방식을 상용의 이동통신 시스템에 응용한 것이다. DS 방식의 송신단에서는 정보보다 전송속도가 빠른 특정 코드열로 정보신호를 확산시켜 광대역 채널을 통해 전송한다. 수신 부에서는 송신 부에서 사용한 동일한 PN 코드를 사용하여 수신 신호를 역 확산 시킴으로써 본래의 정보신호를 얻는다. 역 확산 과정은 수신 부에서 발생시킨 PN 코드와 확산된 정보신호가 곱해지는 과정인데 PN 코드는 자기상관이 크고 상호상관은 작기 때문에 다른 코드를 사용한 그 밖의 사용자의 간섭신호(MUI : Multi User Interference) 혹은 의도적인 방해파가 동일한 주파수에 실려 동시에 수신되어도 역 확산 과정에서 재 확산되어 신호성분이 주파수 대역에 넓게 펴지면서 잡음성분으로 처리된다. 따라서 역 확산 과정을 통해 간섭신호는 억압되고 원래의 정보 신호만이 추출된다. 그러나 여러 가입자의 수신신호로부터의 MUI가 누적되어 신호 대 잡음 전력비의 임계치를 초과하면 신호의 성능이 저하된다.

DS/CDMA 평균 $SNR$을 구하면 다음과 같다.

$$\overline{SNR} = \frac{\rho^2}{\frac{2(U-1)}{3N} \cdot \rho^2 + No/Eb} \quad (20)$$

단, $Eb/No$ : 비트에너지대 잡음전력비, $U$ : 사용자수.

본 논문에서 가정한 임펄스 잡음이 고려되어진

DS/CDMA 시스템의 $SNR$은 임펄스 잡음이 부가되는 점만을 제외하고는 가우스잡음에서의 $\overline{SNR}$과 동일한 방법으로 표현할 수 있다. 임펄스성 잡음이 부가된 환경에서의 평균 $SNR$은 다음과 같다.

$$SNR=\frac{\rho^2}{\frac{2(U-1)}{3N}\cdot\rho^2+No/Eb\left(1+\frac{1}{\Gamma'}\right)} \tag{21}$$

## Ⅲ. 임펄스 잡음과 DS/FH-CDMA MFSK 통신시스템의 성능 해석

임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서의 MFSK 시스템의 오율 식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_e=\int_0^{\infty}P_{eG}\cdot p(R)dR \tag{22}$$

$$P_e=e^{-A}\sum_{j=0}^{\infty}\frac{A^j}{j!}\cdot\frac{M}{2(M-1)}\cdot\sum_{i=1}^{M-1}\binom{M-1}{i}\frac{(-1)^{i+1}}{(i+1)}\cdot\left[\frac{m_i}{m_i+\frac{i}{i+1}(\log_2 M)\gamma\sigma_i^2}\right]^{m_i} \tag{23}$$

그림 3은 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 페이딩 지수($m_i=1, 3, 10$)와 임펄스잡음 지수($A, \Gamma'=0.1, 1$)에 따른 DS/FH CDMA-MFSK 시스템의 성능을 나타낸 그림이다.

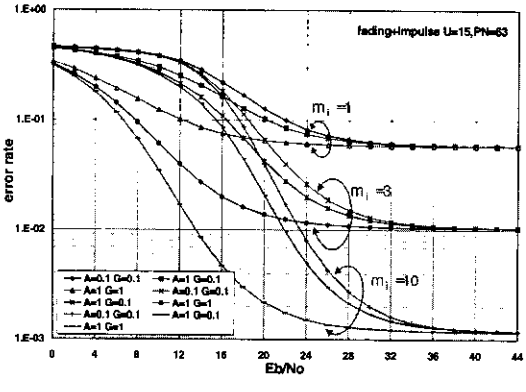



그림 3. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 오율(G= $\Gamma'$)

페이딩 지수에 상관없이 전반적으로 $10^{-3}BER$을 넘지 못하는 매우 열악한 환경을 보이고 있음을 알 수 있고 $36dB$ 이하에서는 페이딩 지수의 증가에 따라 강한 임펄스 잡음($A, \Gamma'=0.1$)과 약한 임펄스 잡음($A, \Gamma'=1$)과의 성능 차이가 커지지만 $36dB$ 이상에서는 일정한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 페이딩과 임펄스잡음이 공존하는 무선통신 채널에서는 $32dB$ 이하에서 심각한 페이딩 현상에서의 강한 임펄스잡음이 시스템 성능에 미치는 영향은 적지만 페이딩 현상이 완화될수록 강한 임펄스 잡음의 시스템 성능에 미치는 영향이 커짐을 확인 할 수 있다. 따라서 이동통신 서비스품질(QoS)의 만족한 시스템을 구축하기 위해서는 성능개선 기법이 필요하다.

### 3.1 다이버시티 수신 기법을 채용한 경우

다이버시티 수신 기법은 동일한 신호를 2개 이상의 가지로 수신하여 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩의 영향을 효과적으로 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서 고려한 MRC 다이버시티 수신 기법은 다이버시티 가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 동시에 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 $SNR$이 큰 신호일수록 합성 $SNR$에 크게 기여하는 방식으로서 여러 다이버시티 기법 중 가장 효과적이다.

본 논문에서는 다이버시티 수신 기법중 개선 효과가 가장 우수한 MRC 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다. 신호 대 잡음전력 비 ($SNR$) $\gamma$는 MRC 다이버시티 수신시 $L$개의 다이버시티 가지의 출력과 다음의 관계가 있다[8].

$$p(\gamma)=\sum_{k=1}^{L}\gamma_k \tag{24}$$

여기서 $\gamma_k$는 각 다이버시티 가지의 $SNR$이다.

그림 4에서는 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 기법을 채용하였을 때에 따른 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 오율 특성을 타나내었다.

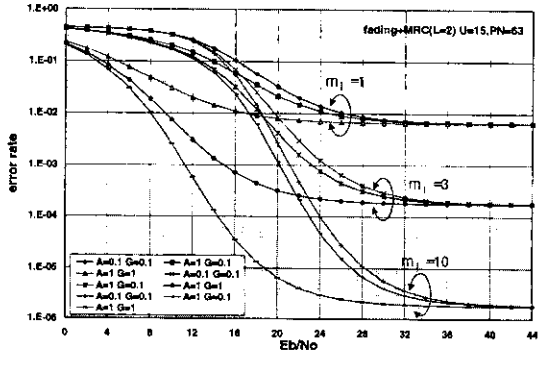



그림 4. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 오율(G= $\Gamma'$)

36$dB$이하에서는 임펄스 잡음 지수에 따라 성능 차이를 보이고 그 이상에서는 성능개선이 없는 일정한 성능을 보이고 있다. 페이딩 지수가 $m_i=1$일 때 $1\times10^{-1}$의 성능개선을 보이지만 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못하는 성능을 보이고 $m_i=3$일 때는 $1.7\times10^{-1}$의 성능개선으로 강한 임펄스잡음에서도 24$dB$에서 음성서비스 기준 오율을 만족함을 알 수 있다. 전체적으로 페이딩 지수가 증가할수록 성능개선정도가 우수하고 임펄스 잡음의 크기에 따라 성능차이가 커짐을 확인 할 수 있었다. 그러나 레일리 분포를 갖는 심각한 페이딩에서는 MRC 다이버시티 기법 한가지만으로는 만족할 만한 성능개선을 볼 수 없음을 알 수 있다.

### 3.2 에러 정정 부호화를 이용한 경우

선형 부호 중 가장 중요한 부호로는 순회 부호가 있는데, 순회 부호는 풍부한 대수학적 구조를 가지고 있어서 지금까지 많은 연구가 되어 왔다. 순회 부호는 부호화와 신드롬 계산 회로의 구성이 간단하여 가장 많이 실용화되고 있다. 또한 순회 부호 중 가장 중요한 부호로서 BCH 부호가 있는데, BCH 부호화 기법은 다수의 에러정정을 하는 Hamming 코드의 일반화된 코드 방식으로 넓은 범위의 부호장과 뛰어난 에러 정정 능력을 갖고 있으며, 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호 중에서 용장도가 제일 작은 우수한 부호이다. 일반적으로 부호화 기법을 도입하면 오율의 성능은 개선되나 대역폭이 넓어지므로 주어진 대역폭 내에서 전송 가능한 전송속도는 떨어지게 되는데 본 논문에서는 부호화를 행하더라도 정보전송을 하기 충분한 전송 대역폭이 확보될 수 있다는 가정하에 해석한다.

그림 5는 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 DS/FH-CDMA MFSK 신호에 대한 성능 개선 기법으로 $t=2$인(15,7) BCH 부호화 기법을 채용하였을 때에 따른 오율 특성을 나타낸 그림이다.

레일리 분포와 같은 열악한 페이딩에서는 36$dB$ 이하에서 성능개선이 거의 완만함을 알 수 있고 페이딩 지수가 증가할수록 BCH 부호화기법에 의한 성능개선이 커짐을 알 수 있다. $m_i=1$ 일 때는 임펄스 지수에 변화에 따른 성능 차가 36$dB$ 이하에서 완만하지만 페이딩 지수 $m_i=3$이상으로 증가할수록 8$dB$와 36$dB$ 사이에서 임펄스 지수의 변화에 따른 성능 차이가 명확히 보임을 알 수 있다. 또한 강한 임펄스 잡음이 공존하는 전송로에서도 27$dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율인 $10^{-3}$을 만족함을 알 수 있다. 그러나 열악한 페이딩 환경에서는 여전히 만족할 만한 오율개선을 보이지 못함으로써 BCH 부호화 기법만으로는 성능개선 효과를 볼 수 없음을 알 수 있다.

따라서, MRC 다이버시티 기법이나 BCH 부호화 기법의 특성을 살려 동시에 채용함으로써 레일리 분포의 열악한 페이딩 환경에서도 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 유도하고자 한다.

### 3.3 MRC 다이버시티 기법과 BCH 부호화 기법을 동시에 채용한 경우

그림 6은 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 동시에 채용했을 때의 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 성능을 보여주는 그림이다.

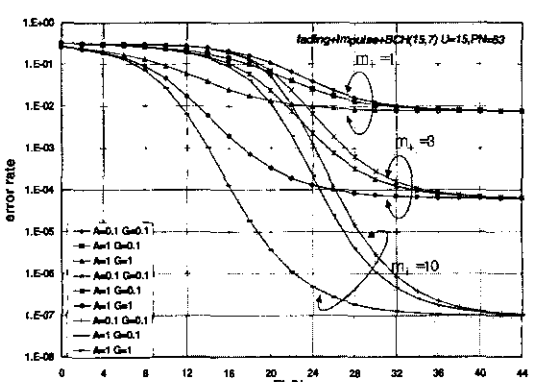



그림 6. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법을 채용한 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 오율(G= $\Gamma'$)

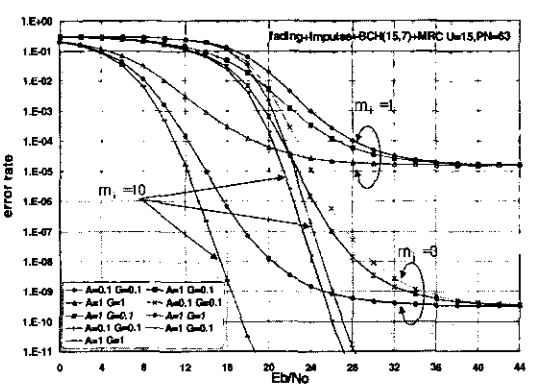



그림 6. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS/FH-CDMA MFSK 신호의 오율(G= $\Gamma'$)

결과에 의하면 BCH 부호화 기법이나 MRC 다이버시티 기법의 단독의 성능 개선보다 훨씬 우수한 성능 개선을 보이고 또한 $m_i=1$인 열악한 페이딩과 강한 임펄스 잡음 하에서도 $24dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 보임을 알 수 있다. $m_i=3$일 때는 $21dB$ 이상에서 임펄스 잡음지수 $A=0.1$인 강한 임펄스잡음 환경에서도 음성서비스기준을 만족하고 $m_i=10$일 때는 $14dB$ 이상에서 기준 오율을 만족하는 우수한 성능개선을 보임을 확인 할 수 있었다. 따라서 BCH 부호화 기법은 단독의 시스템 적용보다는 MRC 다이버시티 기법과 동시에 채용함으로써 음성 서비스를 만족하는 시스템 품질의 만족도를 얻을 수 있고 MRC 다이버시티기법 역시 단독 채용으로는 성능 향상을 얻을 수 없으나 BCH 부호화 기법과 동시에 채용함으로써 열악한 페이딩 환경에서 우수한 다이버시티 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

따라서 두 가지 기법의 특성을 살려 동시에 채용함으로써 페이딩 지수 $m_i=1$이고 임펄스지수 $A=0.1$인 강한 임펄스 잡음 환경에서도 만족할만한 성능개선효과를 보임을 알 수 있다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 DS/FH-CDMA 시스템에서 채널상에 존재하는 가우스 잡음을 포함한 A급 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩이 존재하는 무선 통신로 환경에서 성능개선 기법으로 MRC 다이버시티 기법과 BCH 부호화 기법을 채용한 경우의 DS/FH-CDMA 시스템의 성능 개선을 수치해석에 의해 정량적으로 분석하였다. 고려한 변조 방식은 비동기 MFSK 방식이다.

결과에 의하면 페이딩 환경과 임펄스 잡음이 혼재하는 무선 통신채널에서는 전반적으로 *BER*성능이 $10^{-3}$을 넘지 못하는 매우 열악한 환경임을 알 수 있었다. 레일리 분포의 심각한 페이딩 환경에서 임펄스 잡음이 *SNR*의 증가에 미치는 영향은 적지만 페이딩 현상이 완화될수록 임펄스잡음이 *SNR*의 증가에 미치는 영향이 커짐을 확인 할 수 있었다.

따라서 음성 서비스 기준 오율을 만족하기 위한 성능개선 기법으로 BCH 부호화 기법을 채용했을 때는 페이딩 지수가 작은 열악한 페이딩 환경에서는 강한 임펄스 잡음 지수의 변화에 따른 성능변화가 완만하지만 페이딩 지수 $m_i=3$이상으로 증가할수록 $16dB$와 $36dB$ 사이에서 임펄스 잡음지수에 따른 성능 개선 폭이 크게 이루어지고 그 이상에서는 일정한 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 $27dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 보였다. 그러나 페이딩 지수가 낮은 열악한 환경에서는 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못함으로써 BCH 부호화 기법만으로는 만족할만한 성능개선을 보이지 못함을 알 수 있었다.

MRC 다이버시티 기법을 채용했을 때는 $m_i=1$일 때 $1\times10^{-1}$의 성능개선을 보이지만 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못하는 성능을 보이고 $m_i=3$일 때는 $1.7\times10^{-1}$의 성능개선으로 강한 임펄스잡음에서도 $24dB$에서 음성서비스 기준 오율을 만족함을 알 수 있다. SNR이 낮은 $4dB$에서 $28dB$ 사이에서는 강한 임펄스 잡음지수의 변화에 따른 성능차이가 나타나지만 $28dB$이상에서는 페이딩 지수나 임펄스 잡음지수의 증가와 무관하게 일정한 성능을 보였다. 그러나 페이딩 지수가 낮은 열악한 환경에서는 $30dB$ 이하에서 BCH 부호화 기법보다 약 $0.4\times10^{-1}$정도의 성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 따라서 열악한 페이딩 환경에서는 MRC 다이버시티 기법이 BCH 부호화 기법에 비해 약간의 우수한 효과를 보이고 페이딩 지수가 증가할수록 BCH 부호화 기법이 효과를 보임을 알 수 있었다.

이에 따라 두 가지 성능개선 기법을 동시에 채용함으로써 BCH 부호화 기법은 단독의 시스템 적용보다는 MRC 다이버시티 기법과 같이 채용함으로써 페이딩 지수 $m_i=1$인 열악한 페이딩 환경과 강한 임펄스 잡음 하에서도 *SNR* $24dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 보임을 알 수 있다. MRC 다이버시티 기법은 단독 채용으로는 성능 향상을 얻을 수 없으나 BCH 부호화 기법과 동시에 채용함으로써 열악한 페이딩 환경에서도 향상된 다이버시티 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

따라서 두 가지 기법의 특성을 살려 동시에 채용함으로써 페이딩 지수 $m_i=3$이상에서는 강한 임펄스 잡음에서도 $21dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하고 $24dB$ 이상에서는 데이터서비스 기준 오율인 $10^{-5}$을 만족하는 성능개선효과를 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] E. A. Geraniotis and M. B. Pursley, "Error

probability for slow frequency hopped spread spectrum multiple access communication over fading channel,"*IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 996-1009, May 1982.

[2] Robertson, R. C. and Ha, T. T., "Error probabilities of fast frequency hopped MFSK with noise normalization combining in a fading channel with partial band interference," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, no. 2, pp. 404-412, Feb. 1992.

[3] Robertson, R. C. and Lee, K. Y., "Performance of fast frequency hopped MFSK peceivers with linear and self normalization combining in a rician fading channel with partial band interference," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 4, pp. 731-741, May 1992.

[4] Yoon Y. C., Kohon R. and Imai H. : "Cascaded co-channel interference cancelling and diversity combining for spread spectrum multi-access over multipath fading channels," *IEICE Trans. Commun.*, E76-B, pp. 163-168, Feb. 1993.

[5] Turin G.L. : "Introduction to spread spectrum antimultipath techniques and their application to urban digital radio," Proc. IEEE, 68, 3, pp. 328-353, March 1980.

[6] D. Middleton, "Statistical physical models of electromagnetic interference," *IEEE Trans. on electromag. Compat.*, vol. EMC-19, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.

[7] 滑川敏彦, 奥井重彦, 通信方式. (日本)森北出版株式會社, 1990.

[8] A. B. Carlson, *Communication Systems.* McGraw-Hill, 1986.

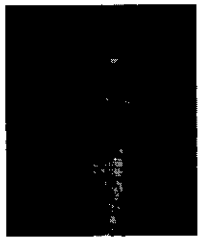
김 지 웅(Ji-Woong Kim)

1996년 2월 : 동신대학교 전자공학과 졸업
1998년 2월 : 동신대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
2001년 2월 : 동신대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)
<주관심 분야> EMI/EMC, 무선통신, 이동통신 및 위성통신

강 희 조(Heau-Jo Kang)

1994년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)
1994년 7월~1995년 12월 : 전자통신연구원 위성망연구소 초빙연구원
1996년 8월~1997년 8월 : 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
1998년 3월~1998년 8월 : 전자통신연구원 무선이동 위성 통신시스템 연구소 초빙연구원
1990년 3월~현재 : 동신대학교 전기전자공학부 교수
2000년 6월~현재 : 한국전자파학회 호남지부 지부장
2000년 7월~현재 : 지역산업정보화센터 센터장
2000년 9월~현재 : 디지털영상매체기술혁신센터 (TIC) 부소장
<주관심 분야> 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파, 전자발광(Electro Luminescence) 디스플레이

이 권 현(Kwon-Hyun Lee)



1985년 8월 : 서독 Duisburg 대학교 대학원(공학박사)
1986년 6월~1987년 2월 : 삼성전기(주) 종합기술 연구소 연구부장
1990년 6월~1991년 9월 : 서독 Aachen대학교 통신기기연구소 객원교수
1987년 3월~1998년 1월 : 동신대학교 전기전자공학과 교수
2000년 3월~2001년 2월 : 서독 IMECH GmbH 연구소 초빙연구원
1998년 2월~2001년 현재 : 도립담양대학 초고속정보통신공학부 교수
<주관심 분야> 광시스템, EMI/EMC, 측정시스템, 특수전기기기