
임펄스 잡음과 나카가미 페이딩이 공존하는 무선통신로에서 하이브리드 CDMA 시스템의 성능 해석

김지웅*, 강희조**, 이권현***

Performance Analysis of Hybrid CDMA Systems in Impulsive Noise
and Nakagami Fading of Wireless Radio Communication

Ji-Woong Kim, Heau-Jo Kang, Kwon-Hyun Lee

요약

본 논문에서는 무선통신로 채널상에 존재하는 가우스 잡음을 포함한 협대역 A급 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 하이브리드 CDMA MFSK 시스템의 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 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 경우가 BCH 부호화 기법을 채용하였을 경우 보다 시스템 성능이 우수하였지만, 페이딩 영향이 감소할수록 BCH 부호화 기법을 채용하였을 경우 시스템 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 반가우시안 분포와 레일리 페이딩 환경에서 각각의 성능 개선 기법을 단독으로 채용하였을 경우, 음성서비스 품질(10^{-3})에 도달할 수 없지만, BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티를 동시에 채용함으로써 강한 임펄스 잡음하에서도 24dB 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능 개선 효과를 얻을 수 있었고, 페이딩 지수가($m=3$) 이상에서는 강한 임펄스 잡음이 부가되어도 22dB에서 10^{-3} 을 만족하고 24dB 이상에서는 데이터 서비스 기준(10^{-5}) 오율을 만족하는 우수한 성능 개선 효과를 보임으로써 다이버시티 가지수와 부호화의 이득에 의한 여러 성능이 향상되었다.

* 동신대학교 전기전자공학과 박사과정 재학중

** 동신대학교 전기전자공학부 부교수

*** 도립담양대학 전기전자과 교수

접수일자 : 2000. 8. 11.

Abstract

In this paper, the performance of Hybrid 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 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 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(24dB over) by adopting techniques BCH coding and MRC diversity at a time. Additional it's a substantial enhancement (10^{-3} satisfaction) in fading index($m=3, 22dB$) in addition to strong impulse noise and 24dB over with data service standard (10^{-5})BER satisfaction. This result show that there is error performance improved by diversity branch and coding advantage.

I. 서론

최근 들어 사회생활이 복잡해지고 고도화됨에 따라 다수의 이용자들에게 고품질의 무선통신 서비스를 제공할 수 있는 무선 데이터 통신 시스템에 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 잡음으로서의 인공적인 잡음이든 자연적인 잡음이든 그것을 해석하는데 있어 용이한 잡음 모델을 결정하는 것이다. 잡음 모델을 해석하는 이유는 무선 잡음 환경의 실제적이고 정량적인 표현을 하고, 그러한 잡음 환경하에서 시스템을 구현하는데 있어 척도가 되며, 단말기가 이동하는 환경에 발생하는 페이딩을 고려한 다양한 변조방식에 의한 최적 통신시스템을 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 오류를 해석하였고, Roberton 등[2]은 부분대역 간섭과 잡음이 존재할 때 Rician 페이딩 환경에서 반복 다이버시티 기법을 사용하는 비동기 FH/MFSK 신호의 오류를 해석하였으며, Roberton 등[3]은 반복 다이버시티 기법과 RS 부호화와 컨벌루션 부호를 이용할 때의 오류율을 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 혼합하므로써 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 확

산된 신호의 반송 주파수가 주기적으로 도약하는 방식이다. PN 신호에 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]. 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 이동통신과 위성통신에도 적용할 수 있는 페이딩 모델로서 나카가미 페이딩을 도입하였다.

종래의 디지털 전송 시스템에서는 잡음 모델을 주로 잡음이 전대역에 걸쳐 분포하는 가우시안 잡음을 사용하여 왔다. 그러나 현대에 와서 자동차의 점화 잡음이나 송·배전선으로부터 발생하는 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 가우시안 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

본 논문에서는 송수신기의 PN 발생기는 이상적

이므로 가정하고 BCH 부호기와 복호기를 도입하는데 해석 모델은 그림 1과 같다[6]. 비트 레이트가 f_b b/s인 입력 비트열은 q 비트의 심볼로 나누어지며 그 결과로 만들어지는 심볼 레이트가 $f_s = f_b/q$ symbols/s인 심볼은 BCH 부호기의 입력이 된다. BCH(n,k)부호에서 n 은 부호어의 길이, k 는 정보의 심볼수를 나타낸다. 에러정정 가능한 수 $t = (d_{\min} - 1)/2$ 이다.

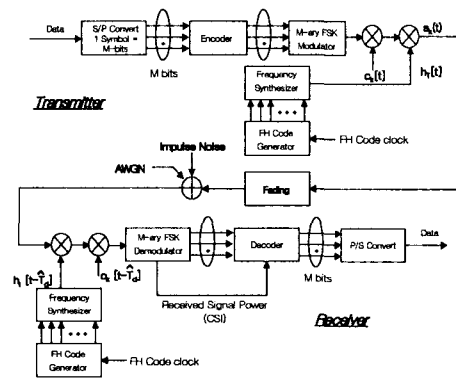


그림 1. 하이브리드 CDMA의 송수신기 구성

2.1 임펄스 잡음

가우시안 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 가우시안 잡음을 포함하는 Middleton의 협대역 A급 임펄스 잡음을 채택한다. 대역통과필터를 통과한 A급 협대역 임펄스 잡음의 순시포락선에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다[7].

$$p(N) = \frac{e^{-A}}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_j^2} \cdot \exp\left(-\frac{N^2}{2W\sigma_j^2}\right), \quad N \dots\dots\dots (1)$$

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.

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

여기에서 잡음전력 W 가 일정하다고 할 때 전체 잡음 전력 중에서 임펄스 잡음 전력성분이 크거나 (즉, Γ' 값이 작거나) 임펄스의 발생빈도 A 가 작을 수록 임펄스성이 강한 잡음이 된다. 시뮬레이션을 수행하여 발생한 임펄스성 잡음의 발생 예와 확률밀도 함수 (p.d.f.)를 나타낸 그림 2(a), (b), (c)에서도 동일한 결과가 얻어진다. 본 논문에서는 임펄스 잡음 모델로서 가우스 잡음을 포함하는 Middleton의 협대역의 A급 임펄스 잡음을 채택한다.

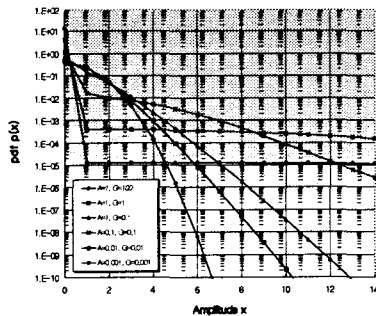
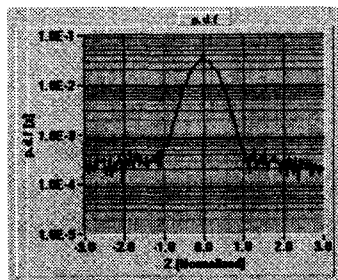
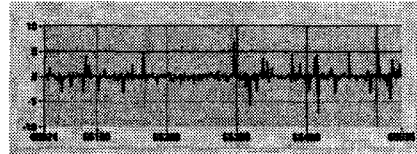


그림 2(a). A급 협대역 임펄스 잡음의 p.d.f.($G = \Gamma'$)



(b) 임펄스성 잡음의 발생 예 ($A=0.1, \Gamma'=0.1$)



(c) 확률밀도함수 (p.d.f.)

2.2 무선 통신로 채널 모델

페이딩은 고속 페이딩과 저속 페이딩으로 나눌 수 있는데 고속 페이딩은 주로 무선 통신에서 다중로 전파에 의해 발생되며 이로 인한 진폭의 변화는 레일리 분포를 따르고 저속 페이딩은 주로 기상이나 대기의 변화에 의해 발생되며 이로 인한 진폭의 변동은 로그-정규분포를 따른다. 이러한 페이딩 현상은 서로 중첩되어 발생한다. 본 논문에서는 페이딩 지수 값에 따라서 레일리 페이딩과 라이시안 페이딩을 포함할 수 있는 나카가미 페이딩을 다루기로 한다. 나카가미 페이딩을 받는 수신신호의 순시 진폭 R 에 대한 확률 밀도함수는 다음과 같이 나타내어진다[8].

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) \dots\dots\dots (3)$$

$\Gamma(\cdot)$; 감마 함수, $\Omega/2$; 수신 평균 전력,

$m (\geq \frac{1}{2})$; 나카가미 페이딩 지수.

$m=1$ 일 때 레일리 페이딩 채널이라 하며, m 이 무한대에 가까우면 nonfading상태라 한다. 그리고 m 이 0.5일 때 반가우시안 페이딩 분포를 갖는다. 스펙트럼 확산 신호에서 처리 이득은 스펙트럼 신호의 대역폭과 정보 신호의 대역폭 비로 주어진다.

직접 확산 방식에서의 처리이득은 $G_p = W_s/W = T/T_c = N$ 이다.

단, W : 정보 신호의 대역폭,

W_s : 확산 신호의 대역폭,

T : 정보 신호의 지속 시간 길이,

T_c : 확산 신호의 지속 시간 길이,

N : PN 코드의 길이.

주파수 도약 확산 방식에서의 처리 이득

$$G_p = W_c / W = q W / W = q$$

단, q : 도약 가능한 주파수 슬롯의 개수.

사용중인 경로에 다른 사용자에게 의해 hit될 확률 P_k 는 다음과 같이 나타내 진다[9].

$$P_k = 1/q \dots\dots\dots (4)$$

단, q : 주파수 호핑수.

$$P(kh) = \binom{U-1}{kh} P_k^{kh} (1-P_k)^{U-1-kh} \dots\dots\dots (5)$$

단, kh 는 랜덤 변수 (0, 1, 2, 3, , U-1)

에러 검출 및 정정을 위한 부호화 기법에는 크게 선형 블록 부호화와 컨벌루션 부호화가 있다. 블록 부호화와 컨벌루션 부호에 대한 근본적인 차이는 기억 장치의 유무에 있으며 블록부호의 부호기는 k 비트의 정보를 n 비트 부호의 부호어로 만들어 내는 주기억장치인 반면에 컨벌루션 부호의 부호기는 출력계열이 현재의 입력뿐만 아니라 과거 입력 계열에 의해서도 결정되므로 기억이 있는 장치로 정보 형태에 따르며 음성이나 영상과 같은 신호는 신호를 전송하는데 발생하는 평균 오율과 발생하는 오율을 정정하는 능력이 주 관심이 되지 만 디지털 신호와 컴퓨터에서 사용하는 정보 등은 전송과정에서 발생한 오율 검출과 검출되지 않는 오율에 대한 확률로서 평가한다. 심볼을 n 은 비트를 k 보다 항상 커야 하며, 부호화된 심볼당 정보 비트수로 정의되는 부호화율은 다음과 같다.

$$\text{부호율(Code rate)} \gamma = k/n$$

하드디지전 에러 확률 P_b 는 다음과 같다.

$$P_b = \sum_{kh=0}^{K-1} P(kh) \cdot P_e \dots\dots\dots (6)$$

DS-CDMA 시스템은 대역확산 방식을 상용의 이동통신 시스템에 응용한 것이다. DS 방식의 송신단에서는 정보보다 전송속도가 빠른 특정 코드열로 정보신호를 확산시켜 광대역 채널을 통해 전송한다. 수신부에서는 송신 부에서 사용한 동일한 PN 코드를

사용하여 수신 신호를 역확산 시킴으로써 본래의 정보신호를 얻는다. 역확산 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 역확산 과정에서 재 확산되어 신호성분이 주파수 대역에 넓게 퍼지면서 잡음성분으로 처리된다. 따라서 역확산 과정을 통해 간섭신호는 억압되고 원래의 정보신호만이 추출된다. 그러나 여러 가입자의 수신신호로부터의 MUI가 누적되어 신호 대 잡음 전력비의 임계치를 초과하면 신호의 성능이 저하된다.

DS-CDMA 평균 SNR을 구하면 다음과 같다.

$$\overline{SNR} = \frac{\rho^2}{\frac{2(U-1)}{3N} \cdot \rho^2 + N_0/E_b} \dots\dots\dots (7)$$

단, E_b/N_0 : 비트에너지 대 잡음전력비, U : 사용자수.

본 논문에서 가정한 임펄스 잡음이 고려되어진 DS-CDMA 시스템의 SNR은 임펄스 잡음이 부가되는 점만을 제외하고는 가우스잡음에서의 \overline{SNR} 과 동일한 방법으로 표현할 수 있다. 임펄스성 잡음이 부가된 환경에서의 평균 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{\rho^2}{\frac{2(U-1)}{3N} \cdot \rho^2 + N_0/E_b \left(1 + \frac{1}{I^r}\right)} \dots\dots\dots (8)$$

III. 임펄스 잡음과 하이브리드 CDMA MFSK 통신시스템의 성능 해석

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

$$P_e = e^{-A} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \cdot \frac{M}{2(M-1)} \cdot \sum_{i=1}^{M-1} \binom{M-1}{i} \frac{(-1)^{i+1}}{(i+1)} \cdot \left[\frac{m}{m + \frac{i}{i+1} (\log_2 M) \gamma \sigma_i^2} \right]^m \dots\dots\dots (9)$$

단, $M\text{-ary} = 4$

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

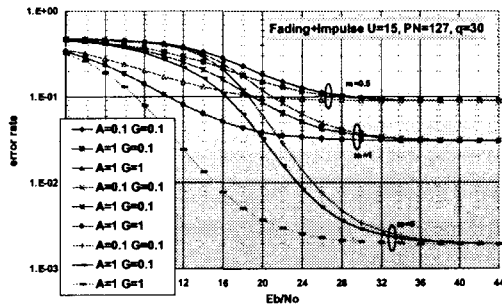


그림 3. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오류($G= \Gamma'$)

페이딩 지수에 상관없이 전반적으로 10^{-3} 의 성능에 미치지 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 다중 접속 간섭의 영향으로 일정한 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 페이딩과 임펄스 잡음이 공존하는 무선통신 채널에서는 32dB 이하에서 심각한 페이딩 현상에서의 강한 임펄스 잡음이 시스템 성능에 미치는 영향은 적지만 페이딩 현상이 완화될수록 강한 임펄스 잡음의 시스템 성능에 미치는 영향이 커짐을 확인할 수 있다. 따라서 이동통신 서비스품질(QoS)의 만족한 시스템을 구축하기 위해서는 성능 개선 기법이 필요하다.

3.1 다이버시티 수신 기법을 채용한 경우

다이버시티 수신 기법은 동일한 신호를 2개 이상의 가지로 수신하여 송신 전력을 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 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR에 크게 기여하는 방식으로 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 잡음 전력비 (SNR) γ 는 MRC 다이버시티 수신지 L개의 다이버시티 가지의 출력과 다음의 관계가 있다[10].

$$P(\gamma) = \sum_{k=1}^L \gamma_k \dots\dots\dots (10)$$

여기서 γ_k 는 각 다이버시티 가지의 SNR이다.

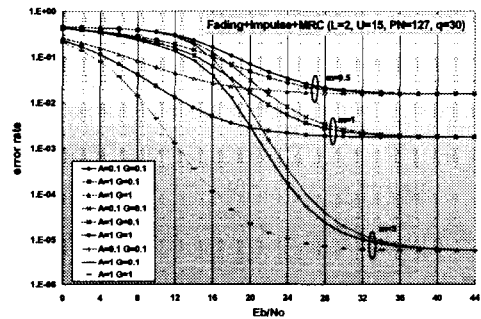


그림 4. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티 수신기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오류($G= \Gamma'$)

그림 4와 5에서는 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 기법을 채용하였을 때 따른 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오류 특성을 사용자수 15명과 30명일 경우로 나타내었다.

$m=0.5, 1, 3$ 일 때 신호전력이 각각 32, 36, 40 dB에서 일정한 성능을 보임을 알 수 있다. 신호전력의 증가와 다이버시티 수신의 적용으로 페이딩에 의한 성능 개선은 이루어지나 강한 임펄스 잡음에 대한 시스템 성능은 36dB이하에서는 성능 차이를 보이고 그 이상에서는 성능 개선이 없는 일정한 성능을 보이고 있다.

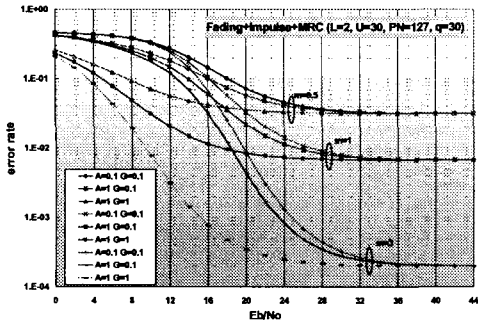


그림 5. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티 수신기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$)

페이딩 지수 $m=0.5$ 일 때 0.6×10^{-1} 의 성능개선을 보이고 $m=1$ 일 때는 1×10^{-1} 의 성능 향상을 보이지만 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못하는 성능을 보이고 $m=3$ 인 경우 2.3×10^{-1} 의 성능 개선으로 강한 임펄스 잡음에서도 22dB에서 음성서비스 기준 오율을 만족함을 알 수 있다. 사용자 수가 30명인 경우 페이딩이 심한 환경에서는 ($m=0.5, 1$) 사용자 15명인 경우 거의 차이가 없는 비슷한 성능을 보이지만 $m=3$ 인 라이시안 분포의 페이딩하에서는 26dB에서 음성기준 오율을 만족하는 4dB정도 저하된 성능을 보인다. 전체적으로 페이딩 지수가 증가할수록 성능 개선 정도가 우수하고 임펄스 잡음의 크기에 따라 성능차이가 커짐을 확인 할 수 있었다. 그러나 반가우시안 분포와 레일리 분포를 갖는 심각한 페이딩에서는 MRC 다이버시티 기법 한가지만으로는 만족할 만한 성능 개선을 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 전송 속도는 떨어지게 되는데 본 논문에서는 부호화를 행하더라도 정보전송을 하기 충분한 전송 대역폭이 확보될 수 있다는 가정하에 해석한다.

그림 6과 7은 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 하이브리드 CDMA MFSK 신호에 대한 성능 개선 기법으로 $t=2$ 인(15,7) BCH 부호화 기법을 채용하였을 때 따른 오율 특성을 사용자수 15명과 30명일 경우로 나타내었다.

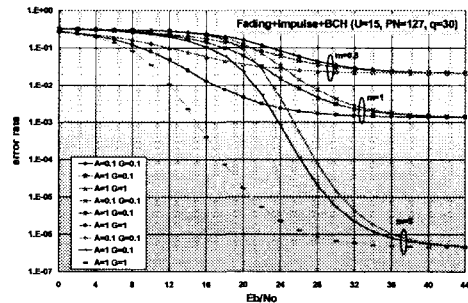


그림 6. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$)

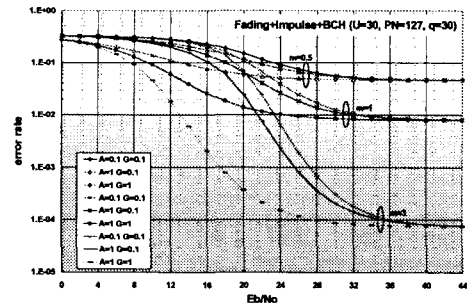


그림 7. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$)

반가우시안 분포와 레일리 분포와 같은 열악한 페이딩에서는 36dB 이하에서 성능 개선이 거의 완만함을 알 수 있고 페이딩 지수가 증가할수록 BCH 부호화 기법에 의한 성능 개선이 커짐을 알 수 있다. $m=0.5, 1$ 일 때는 임펄스 지수에 변화에 따른 성능 차가 36dB 이하에서 완만하고 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용했을 때 보다 성능이 약간 저하되지만 페이딩 지수 $m=3$ 이상으로 증가할수록 8dB와 36dB 사이에서 임펄스 지수의 변화에 따른 성능 차이가 명확히 보이고 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용했을 때 보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 강한 임펄스 잡음이 공존하는 전송로에서도 25dB 이상에서 음성서비스 기준 오율인 10^{-3} 을 만족함을 알 수 있다. 사용자수가 30명일 경우 15명인 경우에 비해 페이딩이 심한 환경에서는 성능 차이가 별로 없으나 $m=3$ 에서는 10^{-2} 정도의 저하된 성능을 보임을 알 수 있다. 여기서 사용자 증가에 따른 간섭보다 페이딩이 시스템 성능에 미치는 영향이 더욱 큼을 알 수 있고 페이딩이 완만해 질수록 사용자수와 임펄스 잡음이 시스템에 미치는 영향이 심각해짐을 알 수 있다. 그러나 페이딩의 영향이 큰 경우에는 여전히 만족할 만한 오율 개선을 보이지 못함으로써 BCH 부호화 기법만으로는 성능 개선 효과를 볼 수 없음을 알 수 있다. 따라서, MRC 다이버시티 수신 기법이나 BCH 부호화 기법의 특성을 살려 동시에 채용함으로써 레일리 분포의 열악한 페이딩 환경에서도 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능 개선을 유도하고자 한다.

3.3 MRC 다이버시티 기법과 BCH 부호화 기법을 동시에 채용한 경우

그림 8과 9는 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 수신 기법을 동시에 채용했을 때의 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 성능을 보여주는 그림으로써 사용자 15명과 30명인 경우를 나타내고 있다.

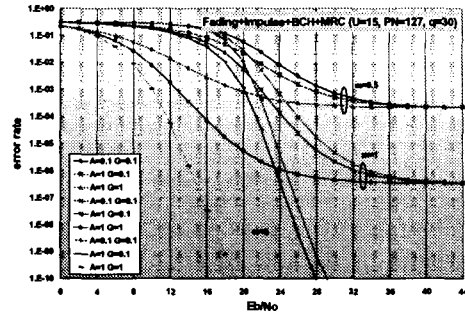


그림 8. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$)

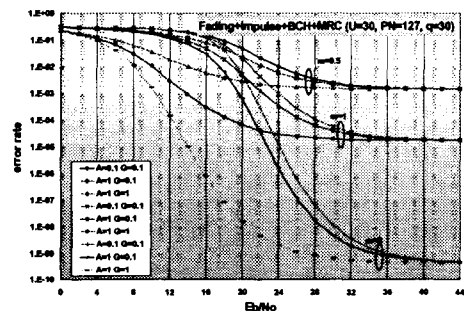


그림 9. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$)

분석 그림 4. 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티 수신기법을 채용한 하이브리드 CDMA MFSK 신호의 오율($G = \Gamma'$) 결과에 의하면 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 수신 기법을 함께 이용하는 경우에는 $m=1$ 인 열악한 페이딩과 강한 임펄스 잡음 하에서도 사용자 15명에서는 23dB 이상에서 사용자 30명에서는 24dB 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능 개선을 보임을 알 수 있다. $m=3$ 인 경우에는 강한 임펄스 잡음에서도 22dB 이상에서 음성서비스 기준을 만족하고 24dB 이상에서 데이터 서비스 기준을 만족하는 우수한 성능 개선을 보이고

있다. 그러나 아주 심각한 페이딩(반가우시안) 환경에서는 성능개선의 정도가 미약함으로 음성통신 기준이 불가능함을 보여주고 있다. 따라서, 페이딩(반가우시안) 환경에서는 강력한 부호화 기법(터보 부호화)등을 적용함으로써 만족할만한 성능 개선을 얻으리라고 생각되어진다. 고로 앞으로의 연구 방향으로서는 강한 페이딩과 강한 임펄스 잡음 환경에서 터보 코드를 적용하여 연구하고자 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 하이브리드 CDMA 시스템에서 채널 상에 존재하는 가우스 잡음을 포함한 A급 임펄스 잡음과 나카가미 페이딩이 존재하는 무선 통신로 환경에서 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 기법과 BCH 부호화 기법을 채용한 경우의 하이브리드 CDMA 시스템의 성능 개선을 수치해석에 의해 정량적으로 분석하였다. 고려한 변조 방식은 비동기 MFSK 방식이다.

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

따라서 음성서비스 기준 오율을 만족하기 위한 성능 개선 기법으로 BCH 부호화 기법을 채용했을 때는 페이딩 지수가 작은 열악한 페이딩 환경에서는 강한 임펄스 잡음 지수의 변화에 따른 성능 변화가 완만하지만 페이딩 지수 $m=3$ 이상으로 증가할수록 $8dB$ 와 $36dB$ 사이에서 임펄스 잡음지수에 따른 성능 개선 폭이 크게 이루어지고 그 이상에서는 일정한 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 사용자수 15명에서는 $25dB$, 사용자수 30명에서는 $27dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 보였다. 그러나 페이딩 지수가 낮은 열악한 환경에서는 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못함으로써 BCH 부호화 기법만으로는 만족할만한 성능 개선을 보이지 못함을 알 수 있었다.

MRC 다이버시티 기법을 채용했을 때는 $m=0.5$ 일 때 0.6×10^{-1} , $m=1$ 일 때 1×10^{-1} 의 성능 개선을 보이지만 음성서비스 기준 오율을 만족하지 못하는 성능을 보이고 $m=3$ 일 때는 2.3×10^{-1} 의 성능 개선을 강한 임펄스잡음에서도 사용자 15명에서는 $22dB$ 에서, 사용자 30명에서는 $27dB$ 에서 음성서비스 기준 오율을 만족함을 알 수 있었다. SNR이 낮은 $4dB$ 에서 $36dB$ 사이에서는 강한 임펄스 잡음지수의 변화에 따른 성능 차이가 나타나지만 $36dB$ 이상에서는 페이딩 지수나 임펄스 잡음지수의 증가와 무관하게 일정한 성능을 보였다. 그러나 페이딩 지수가 낮은 ($m=0.5, 1$) 열악한 환경에서는 $30dB$ 이하에서 BCH 부호화 기법보다 약 0.2×10^{-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 $m=1$ 인 열악한 페이딩 환경과 강한 임펄스 잡음 하에서도 사용자 15명에서는 $23dB$ 이상에서 사용자 30명에서는 $24dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하는 성능개선을 보였다.

MRC 다이버시티 기법은 단독 채용으로는 성능향상을 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 사용자수가 30명이고 페이딩 지수 $m=3$ 이상에서는 강한 임펄스 잡음에서도 $22dB$ 이상에서 음성서비스 기준 오율을 만족하고 $24dB$ 이상에서는 데이터서비스 기준 오율인 10^{-5} 을 만족하는 우수한 성능 개선 효과를 얻을 수 있었다. 앞으로의 연구 방향으로서는 강한 페이딩과 강한 임펄스 잡음 환경에서 터보 코드를 적용하여 연구하고자 한다.

V. 참고문헌

[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 receivers 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] T. Matsumoto and A. Higashi, "Performance analysis of RS-coded M-ary FSK for frequency hopping spread spectrum mobile radio," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, no. 3, Aug. 1992.

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

[8] 滑川敏彦, 奥井重彦, 通信方式. (日本)森北出版株式会社, 1990.

[9] Jiangzhou Wang and Marc Moeneclaey,

"Hybrid DS/SFH spread spectrum multiple access with predetection diversity and coding for indoor radio," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, no. 10, pp. 1654-1662, Oct. 1992.

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



김 지 웅(Ji-Woong Kim)

1996년 2월 : 동신대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 2월 : 동신대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2000년 현재 : 동신대학교 전기전자공학과 박사과정 재학중

※ 주관심 분야 : EMI/EMC, 무선통신시스템, 이동통신, 위성통신



강 희 조(Heu-Jo Kang)

1986년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)

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 무선이동위성통신시스템 연구소

초빙연구원

1998년 3월 ~ 현재 : 한국전자과학회 호남지부 지부장

2000년 1월 ~ 현재 : 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원

1990년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 전기전자공학부 부교수

※ 주관심 분야 : 무선통신시스템, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신, EMI/EMC, 무선광통신, 밀리미터파, PEL 평판디스플레이



이 권 현(Kwon-Hyun Lee)

1972년 2월 : 조선대학교 공과대학 전기공학과(공학사)

1976년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1985년 8월 : 서독 Duisburg대학교 대학원(공학박사)

1985년 9월~1986년 5월 : 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원

1986년 6월~1987년 2월 : 삼성전기(주) 종합기술연구소 연구부장

1990년 6월~1991년 9월 : 서독 Aachen대학교 통신기기연구소 객원교수

1994년 7월~1994년 8월 : 일본 Musashi공업대 전기기기연구소 객원교수

1990년 6월~1991년 9월 : 서독 Aachen대학교 통신기기연구소 객원교수

1987년 3월~1998년 1월 : 동신대학교 전기전자공학과 교수

1998년 2월~2000년 현재 : 도립담양대학 전기전자과 교수

※ 주관심 분야 : 광시스템, EMI/EMC, 측정시스템, 특수전기기기