

# 임펄스 간섭과 광대역 무선통신 채널에서 터보 부호를 적용한 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템의 성능

## Performance of Turbo Coded OFDM/FHMA Hybrid Systems in Impulsive Interference and Broadband Wireless Communication Channel

강희조\*

Heau-Jo Kang\*

### 요 약

본 논문에서는 임펄스 간섭과 광대역 무선통신 채널에서 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템을 분석하고 음성 및 데이터 전송 서비스를 만족하기 위한 성능 보상 방안으로 터보 부호를 적용하여 열화 된 시스템의 성능을 개선하였다. 또한, 다이버시티 기법과 터보 부호를 적용했을 때의 시스템 성능을 비교하였다. 얻어진 결과로부터 제안된 하이브리드 OFDM/FHMA 시스템은 일반적인 OFDM/FHMA 시스템과 비교하면 10배 이상의 성능이 향상되는 것으로 분석 되었다.

### Abstract

In this paper, we analyzed the performance of orthogonal frequency division multiplexing/ frequency hopping multiple access(OFDM/FHMA) hybrid system that in impulsive interference and broadband wireless communication channel then we applied the turbo code scheme to make satisfied in data and voice transmission service. Also, we compared the bit error rate(BER) performance of turbo coded diversity scheme in the OFDM/FHMA hybrid system. As a result of simulation, proposed OFDM/FHMA hybrid system shows the enhancement of 10 times compared to the general OFDM/FHMA system.

Key words : OFDM/FHMA, broadband wireless, impulse noise, turbo code, MRC diversity

### I. 서 론

멀티미디어 시대를 맞이하여 대용량의 데이터를 고속으로 전송해야하는 필요성이 최근들어 급격히 증대되고 있다. 특히 인터넷을 통한 음성, 비디오, 데이터 통신이 최근 크게 증가하고 이동 중에 사용할 수 있는 무선 광대역 멀티미디어 통신에 대한 기대가 증가하고 있다. 무선 채널에서 데이터를 고속으로 전

송할 경우 무선 채널의 다중 경로 간섭의 영향으로 인하여 높은 에러율을 갖게 되어 무선 채널에서 적합한 무선 접속 방식이 요구 된다[1]. 또한, 멀티미디어 서비스의 급속한 성장으로 인하여 무선 LAN(Local Area Network)에 대한 관심이 고조되고 있고, 미국에서는 FCC가 5GHz 대역에 U-NII(Unlicensed National Information Infra structure) 주파수대를 설정하고 무선 LAN과 무선 인터넷, 무선 데이터 서비스 등을 초고

\* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Engineering, Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 강희조

· 접수일자 : 2006년 6월 23일

속 정보 통신망에 수용할 기반을 마련하고 있다[2]. 따라서, 본 논문에서는 가우스 잡음을 포함하는 Middleton의 A급 협대역 임펄스 간섭뿐만 아니라 단 말기의 이동으로 인하여 발생하는 페이딩 환경에서 OFDM/FHMA 하이브리드 광대역 무선 통신시스템을 제안하고 제안 시스템의 성능을 분석하였다.

제안 시스템의 성능 개선 기법으로는 수신단에서 다중경로 페이딩과 임펄스 간섭에 대한 보상으로 공간 다이버시티 기법인 최대 비 합성법과 터보부호 기법을 채용했을 때의 성능 향상을 비교 분석하였다.

## II. 시스템 구조 및 파라미터

### 2-1 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템

그림 1은 제안된 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템의 해석 모델을 나타낸다. 송신기로 들어오는 데이터는 직렬 병렬 변환기를 통하여 병렬 데이터로 변환되고 각 병렬 데이터 혹은 OFDM 서브채널은 터보 부호기를 이용해서 터보 부호로 변환 되어 각 각의 변조 방식의 심볼을 사용해서 신호좌표에 Gray 맵핑을 이용하여 맵핑 한다. 각 서브채널은 역 고속푸리에 변환을 이용해서 기저대역 변조가 된다. 역 고속 푸리에 변환 기저대역 OFDM 서브채널들의 결과는 다중화, 병렬 변환기를 통해서 OFDM 블록 신호의 형태로 변환 된다. 보호대역에 삽입되는 신호는 각 OFDM 심볼 간 간섭이 더해진다. OFDM 블록은 A/D변환기를 이용해서 고주파 성분의 신호는 베이스 밴드 신호에 비해 충분히 높은 주파수이고 저역 통과필터를 이용하여 용이하게 베이스 밴드 신호만을 분리하는 것이 가능하다. 그리고 주파수 호핑된 슬롯이 상향 변환기를 통하여 송신 된다. 전송로 채널에서는 가우시안 잡음 과 임펄스 간섭이 더해지게 되며 또한 페이딩이 곱해진다. 수신기에서는 송신기의 역의 기능으로 작용한다.

송수신신호  $s(t)$ 는 아래와 같다.

$$s(t) = Re \left[ \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{-\frac{j2\pi n t}{T}} \cos(\omega_f t) \right] \quad (1)$$

여기서,  $Re(x)$  : 실수부분의 복소수 수  $x$

$N$  : OFDM의 부 채널의 수

$a_n$  : 부 캐리어의 크기와 위상 정보의 수

$T$  : OFDM 부 캐리어의 심볼 주기

$\omega_f$  : 홉 슬롯의 중심주파수

도약 시퀀스는 서로 다른 셀에 있는 두 명의 사용자가 모두 도약의 일부분에 대해서만 서로 간섭을 일으키도록 구성 된다. 동시 사용자가 많아 막대한 부하가 걸린 시스템에서는 많은 도약이 간섭을 일으키지만 이때의 간섭은 각 도약에 대해 다를 수 있다. 따라서 몇 개의 도약에 걸쳐 오류정정 부호화를 하면 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템의 성능은 최악의 경우에 발생하는 간섭이 아닌 평균적인 간섭에 의해 제거된다[3].

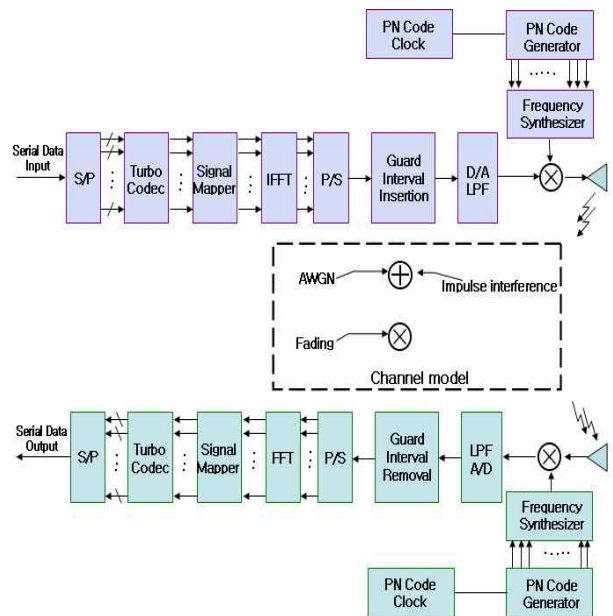


그림 1. OFDM/FHMA 하이브리드 시스템 해석 모델  
Fig. 1. Analysis model of OFDM/FHMA hybrid system.

### 2-2 나카가미-m 페이딩 채널환경

나카가미-m 페이딩은 나카가미 교수에 의해 단파대에 있어서의 대규모 실험을 통하여 찾아낸 것으로 심도 지표라고 부르는 파라미터 m의 값에 의해 중단파로부터 마이크로파에 이르는 무선통신로에서 발생하는 여러 가지 형태의 포락선 변동을 기술할

수 있다. 나카가미- $m$  분포 페이딩을 받은 수신 신호의 순시 진폭  $R$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다[4].

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

단,  $\Gamma(\cdot)$  ; 감마 함수,  $\frac{\Omega}{2}$  ; 수신 평균 전력.

### 2-3 임펄스 간섭 채널

임펄스 간섭의 통계적 모델 중에서 Middleton의 A급 임펄스 간섭은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 간섭을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다.

일반적으로 협대역 잡음  $n(t)$ 를 동상 성분과 직교 성분으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$n(t) = x(t)\cos w_c t - y(t)\sin w_c t \quad (3)$$

여기서  $w_c$ 는 협대역 잡음의 중심 각 주파수이다. 잡음  $n(t)$ 를 A급 임펄스 간섭으로 가정할 때 이에 대한 결합확률밀도함수(p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p_I(x, y) = e^{-A} \sum_{b=0}^{\infty} \frac{A^b}{b! 2\pi W\sigma_b^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2W\sigma_b^2}\right) \quad (4)$$

이때, Jacobian 정리를 사용하여 각각 직교성분과 동상 성분으로 나타내면 다음과 같다.

$$p_I(x) = e^{-A} \sum_{b=0}^{\infty} \frac{A^b}{b! \sqrt{2\pi W\sigma_b^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2W\sigma_b^2}\right),$$

$$p_I(y) = e^{-A} \sum_{b=0}^{\infty} \frac{A^b}{b! \sqrt{2\pi W\sigma_b^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2W\sigma_b^2}\right) \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_b^2 = \frac{b/A + \Gamma}{1 + \Gamma}$ ,  $\Gamma = \sigma_G^2/\sigma_I^2$  는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 간섭 전력비, A는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율),

$W = \sigma_G^2 + \sigma_I^2$ 는 전체 잡음 전력을 나타낸다.

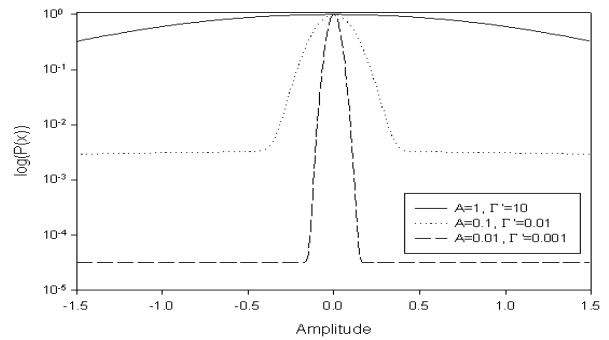


그림 2. 정규화된 임펄스성 간섭의 확률밀도함수  
Fig. 2. The probability density function of normalized impulsive noise

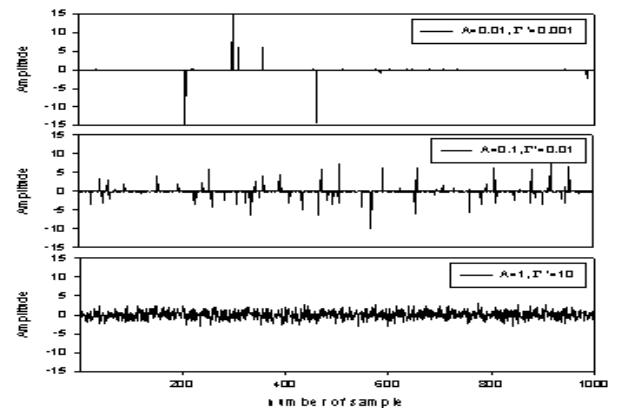


그림 3. 임펄스성 간섭의 시간 파형  
Fig. 3. Time waveform of impulsive noise.

식 (10)에서 정의한 임펄스성 간섭에 대하여 정규화된( $W=1$ ) 확률밀도함수와 시간축에서의 파형을 그림 2, 그림 3에서 각각 나타내었다. 임펄스성이 약한 환경은 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 서서히 감소하지만, 임펄스 성이 강한 환경에서는 0에 근접한 진폭 성분이 주를 이루며 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값은 일정하게 나타난다. 그림 2와 그림 3에서 A가 0.01,  $\Gamma$ 가 0.001인 환경은 임펄스성이 강한 환경을 나타내고, A가 1이고,  $\Gamma$ 가 10인 환경은 가우스 잡음 환경에 근접하는 환경이다[5].

### 2-4 터보 부호화

그림 4는 터보 부호기의 블록 다이어그램을 보여 준다.

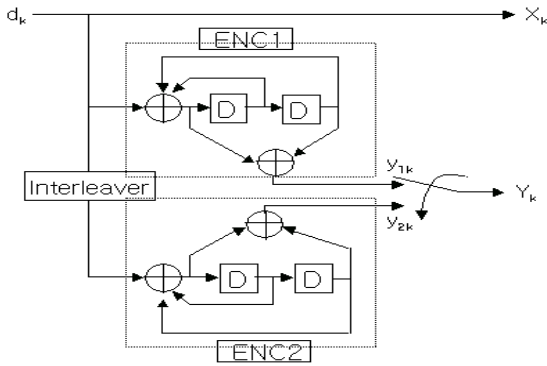


그림 4. 터보 부호기의 블록 다이어그램  
Fig. 4. Block diagram of turbo encoder.

터보 부호는 단순히 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional)를 병렬로 연결하고, 두 부호기(ENC1과 ENC2)의 출력 시퀀스를 다르게 하기 위해서 두 부호기를 인터리버로 나누어 놓은 형태를 취하고 있다. 데이터 시퀀스가 프레임 단위로 전송된다면 터보 부호기는 메모리가  $v$ 인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로써 생각할 수 있다. 또한 RSC 부호기(ENC1)의 모든 상태를 0으로 만들기 위해서  $v$ 개의 정보 비트를 한 프레임 끝에 붙인다. 따라서 두 개의 RSC 사이에 놓인 인터리버  $n$ 은 데이터 프레임과 마지막 비트  $v$ 가 더해진 길이이다. 이 때, 터보 부호기에서는 시스템틱 시퀀스와 패리티 시퀀스로 구성된 부호 시퀀스로 부호화된다. 또한, 대역 효율을 위해서 패리티 프레임을 평처링 한다. 따라서 그림 4의 터보 부호기의 부호율  $R_c = \frac{1}{2}$ 이 된다[6],[7].

터보 부호에 대하여 심볼 당 에너지를 다음과 같이 비트 당 에너지로 바꿀 수 있다.

$$E_s = E_b R_c \frac{n-v}{n} \tag{6}$$

여기서,  $R_c$ 는 부호율이고,  $\frac{(n-v)}{n}$ 는 부호기를 종료시키기 위해서  $v$ 개의 테일 비트를 사용한 것을 고려하기 위해 곱해지는 상수이다. 모두 0인 시퀀스가 보내어져서 그 중 잘못된 부호어를 복호할 때 적어도 2 비트의 정보에 에러가 발생하게 된다. 그러므로 터보 부호의 에러 확률에 관한 하한은 다음과

같이 주어진다.

$$P_b \geq \frac{2}{n-v} P_e \tag{7}$$

### III. 시스템 성능 분석 및 검토

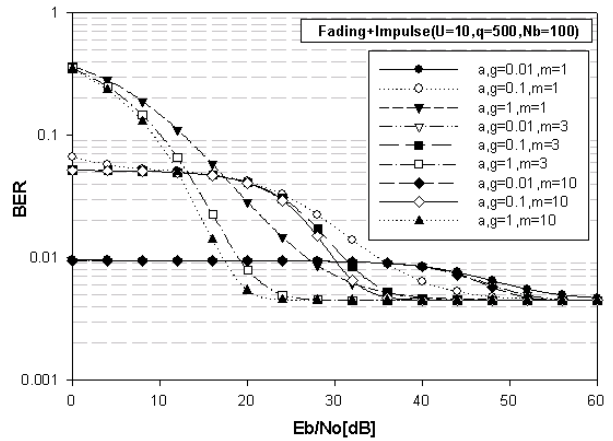


그림 5. 임펄스 간섭과 페이딩 환경에서의 비트 오류율의 성능 ( $G = I'$ )

Fig. 5. Performance of the bit error rates in Impulsive interference and fading environment ( $G = I'$ ).

그림 5는 임펄스 간섭과 나카가미 페이딩 환경에서 앞에서 유도한 FH/CDMA-NFSK 신호의 오류율을 이용하여 시스템의 성능을 나타낸 그림이다. 그림 5에서 보는바와 같이 30dB 이하에서는 임펄스 간섭 지수의 크기에 따라 성능차이가 뚜렷이 나타나지만 그 이상에서는 전반적으로  $10^{-3}BER$ 을 넘지 못하는 열악한 환경을 보임을 알 수 있고, 페이딩 심도지수  $m$ 의 변화에 따라서는 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 또한  $E_b/N_o = 32$  dB 이하에서는 임펄스성이 강한  $A = 0.01, \Gamma = 0.01$ 인 환경 보다 임펄스성이 비교적 약한  $A = 0.1, \Gamma = 0.1$ 인 환경에서 BER 성능이 더욱 나았다. 이것은 그림 3에서 보는 바와 같이  $A = 0.01, \Gamma = 0.001$ 인 환경은 임펄스성 전력은 크지만 빈번하게 발생하지 않으나,  $A = 0.1, \Gamma = 0.01$ 인 환경은 비록 임펄스성 전력은 상대적으로 작지만 훨씬 빈번하게 발생하므로 낮은 신호 전력에서 BER 성능에 더 큰 영향을 미치게 된다. 위의 결과로부터 페이딩의 영향보다는 여러명의 사용자가 같은 시간에 같은 주파수를 사용함으로써

써 발생하는 충돌과 임펄스성 간섭이 시스템의 열화 요인으로 크게 작용하므로 이에 대한 효과적인 성능 개선 기법이 필요함을 알 수 있다.

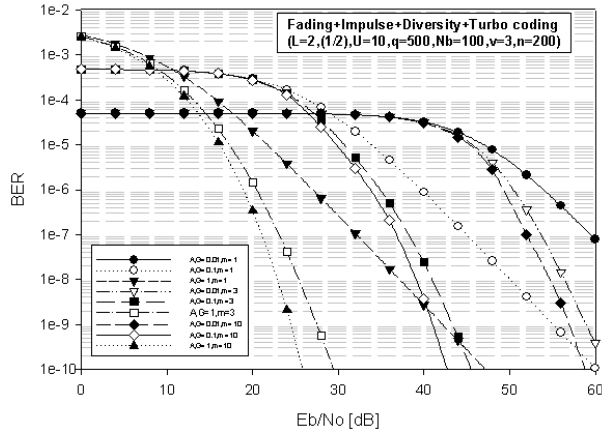


그림 6. MRC 다이버시티와 Turbo 코드를 적용하였을 때의 시스템 성능

Fig. 6. System performance of Turbo coded MRC diversity scheme.

그림 6은 다이버시티 수신 기법과  $v=3, n=200$  인 터보 부호 기법을 적용하였을 때의 시스템 성능을 보여주고 있다. 결과에 의하면 강한 임펄스 잡음 상태  $A, \Gamma = 0.01$ 에서 터보 부호 기법을 적용하였을 때는 36dB이상에서 강한 임펄스 잡음 상태에서의 성능 개선이 이루어지고, 50dB이상에서는 무선 데이터 통신이 가능함( $10^{-6} BER$ )을 알 수 있다. 약한 임펄스 잡음 상태 ( $A, \Gamma = 0.1$ )에서는 25dB이하에서 임펄스 잡음이 빈번하게 발생하므로써 에러율이 높게 되어 강한 상태 보다 훨씬 열악한 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 터보 코드를 적용시킴으로써 10 배 이상의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 임펄스 간섭과 다중 사용자 접속 간섭 및 나카가미-m 페이딩 환경으로 모델링 되는 OFDM/FHMA 하이브리드 광대역 무선통신 시스템을 제안하고 이의 성능을 구하였다. 성능 개선방법으로는 공간 다이버시티 최대 비 합성 수신기법과 강력한 오류정정능력을 갖춘 터보 부호 기법을 채용하여 시스템의 성능 개선정도를 비교 분석하였다.

본 논문에서 고려한 OFDM/FHMA 하이브리드 시스템은 페이딩과 임펄스 간섭으로 인하여 시스템에 심각한 영향을 미치게 되는데 특히, 페이딩보다는 임펄스 간섭의 발생빈도와 크기에 따라 시스템 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 또한, 신호전력의 일정 구간(25dB)내에서는 임펄스 크기 보다는 잦은 발생 빈도에 의해 시스템 성능이 더욱 열화 됨을 알 수 있었다. 이에 대한 성능개선책으로 다이버시티 기법과 터보 부호화 기법을 동시에 채용함으로써 낮은 신호전력에서도 향상된 성능개선을 얻을 수 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Van Nee, and R. Parasad, *OFDM for Wireless Multi media Communication*, Artech House, 2000.
- [2] J. Heiskala, and J. Terry, *OFDM Wireless LANs*, Sams Publishers, 2002.
- [3] E. A. Geraniotis and M. B. Pursley, "Error probability for slow frequency hopped spread spectrum communications in presence of partial band interference," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 767-774, Aug. 1985.
- [4] M. Nakagami, *The m-distribution a general formula of intensity distribution of rapid fading*, in *Statistical Methods of Radio Wave Propagation*, W. C. Hoffman ed., Pergamon : Oxford, pp. 3-36, 1960.
- [5] S. Unawang, S Miyamoto, and N. Morinaga, "A novel receiver design for DS-CDMA systems under impulsive radio noise environments," *IEICE Trans. Commun*, vol. E82-B, no. 6, pp. 936-943, June 1999.
- [6] D. N. Rowitch, "Convolutional and turbo code multicarrier direct sequence CDMA and applications of turbo code to hybrid ARQ communication systems," Phd. dissertation, 1998.
- [7] M. Reza Soleymani, Yingzi Gao, and U. Vilaipornsawai, *Turbo Coding for Satellite and Wireless Communications*, Kluwer Academic Publishers, pp. 97-151, 2002.

## 강 희 조 (姜熙照)



1994년 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1996년 ~ 1997년 : 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1990년 ~ 2003년 : 동신대학교 전자정보통신공학부 교수

2003년 ~ 현재 : 목원대학교 컴퓨터

공학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, RFID, 디지털컨텐츠