

협대역 간섭 환경에서 Turbo Code를 사용한 UWB 시스템의 성능 개선

강병규* · 이양선* · 강희조**

*동신대학교 전기전자공학과 · **목원대학교 IT공학부

Performance Improvement of UWB System using Turbo Code in Narrowband Interference Environment

Byung-Gyu Kang* · Yang-Sun Lee* Heau-Jo Kang**

*Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ. · **Dept. of IT Eng., Mokwon Univ.

E-mail : ilpi97@hanmail.net

요 약

UWB 시스템은 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 스펙트럼이 발생하기 때문에 기존에 공존하는 협대역 시스템의 신호로부터 간섭의 영향을 받게 된다. 이는 협대역 신호가 UWB 신호 대역폭에 유입되는 부분 대역 간섭으로 고려 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 협대역 간섭 모델을 대역 점유율에 따른 부분대역 간섭으로 모델링 하였으며, 협대역 간섭 점유율에 따른 TH binary PPM UWB 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 강력한 오류 정정능력을 갖는 Turbo code를 사용함으로써 성능 개선 정도를 평가하였다.

I. 서 론

UWB(Ultra Wideband)는 미국 국방부가 군사적 목적으로 개발한 무선 기술이다. 이 기술은 매우 짧은 펄스 폭을 갖는 모노 사이클 펄스를 펄스 위치 변조(pulse position modulation : PPM)를 이용하여 상향 변조 없이 그대로 기저대역 신호로 전송하여 무선 데이터 전송을 위해 수 GHz 대역폭의 초광대역을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 IEEE802.11a 기술의 전송 속도가 54 Mbps에 불과한데 비해 100Mbps에서 1Gbps의 초고속 전송 속도를 자랑하며, 빠른 전송 속도에도 불구하고 전력 소모량은 휴대폰과 무선랜(WLAN) 제품이 필요로 하는 전력량의 10분의 1 수준 밖에 안된다[1],[2].

이러한 UWB 시스템은 2002년 2월 FCC에서 3.1~10.6GHz대역에서 부분적인 UWB 기술을 승인함으로써 기존에 사용되던 시스템이나 앞으로 공존하게 될 시스템과의 간섭에 대한 대안이 요구되고 있다[3].

따라서 본 논문에서는 기존의 시스템에서 강력한 오류정정 부호의 하나로 제안된 터보 부호를 사용하여 기존 시스템의 간섭에 대한 성능 개선 정도를 평가하였다.

II. 시간 도약 PPM 시스템

2.1 초광대역 신호 송신

UWB 시스템에서 가우시안 모노사이클 펄스를 전송할 경우 k번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현된다[4].

$$s^{(k)}(t) = \sum_j \omega(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta a_{[j/N_s]}^{(k)}) \quad (1)$$

여기서, $\omega(t)$ 는 전송된 기본 모노 펄스, T_f 는 펄스 반복 시간 또는 프레임 시간이며 한 심벌의 주기 $T = N_s T_f$ 이다. N_s 는 하나의 데이터 비트에 대한 반복 전송 횟수이다.

$c_j^{(k)}$ 는 k번째 사용자의 j번째 도약 부호를 나타내며, N_h 를 도약 부호가 가질 수 있는 최대값이라 할 때 다음 조건을 만족해야 한다.

$$0 \leq c_j^{(k)} \leq N_h \quad (2)$$

또한 펄스와의 충돌을 피하기 위해서는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$N_h T_c \leq T_f \quad (3)$$

$\delta d_{j/N_i}^{(k)}$ 는 디지털 데이터 "0"과 "1"에 대한 PPM과정을 나타낸다.

2.2 다원 접속 간섭 채널

N_u 명의 사용자가 다원 접속할 때, 사용자 $k=1$ 의 i 번째에 대한 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (4)$$

여기서

$$n_{tot}(t) = \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (5)$$

n_{tot} 는 다른 사용자의 간섭과 수신기 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자 각각이 랜덤 시간 도약 패턴을 이용하고 데이터 비트 발생 역시 랜덤하다면, 식 (5)에서 다른 사용자에 의한 간섭은 N_u 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤 변수로 근사되며, n_{tot} 역시 가우시안 분포를 따르게 된다. 따라서, 위와 같은 조건에서 이진 UWB 시스템의 비트오율은 다음과 같이 구해진다[4],[5].

$$P_b = \left\{ \frac{1}{SNRb} + \frac{1}{N_s} \frac{\sigma_a^2}{m_p^2} \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1} \quad (6)$$

여기서, $SNRb = A_1^2 \frac{E_b}{N_0} (1 - \gamma_w(\tau_{min}))$.

$\gamma_w(\tau_{min})$ 은 수신 신호에 대한 상관값을 나타낸다.

III. 협대역 간섭에서 UWB시스템의 성능 분석

본 절에서는 FCC에서 제정한 실내 UWB 시스템 허용 주파수 3.1~10.6GHz 대역내에 존재하는 협대역 시스템신호를 간섭 신호로 고려하여 UWB 시스템의 성능을 분석 한다.

그림 1은 전체 주파수 대역에서 협대역 간섭(narrow band interference)의 주파수 분포 모델을 나타낸다. 이때 전체 주파수 대역 W_s 와 간섭 신호가 존재하는 주파수 대역 W_I 의 비 $\rho = W_I/W_s$ 이다. 그림 1에서 $N_I/2$ 는 평균 간섭 전력 밀도이고 $N_I/2\rho$ 는 협대역 간섭의 순간 최대 전력밀도이다.

단, ρ : 대역 점유율 ($0 < \rho \leq 1$).

협대역 간섭하에서 가우스 잡음을 고려한 시스

템의 에러는 가우스 잡음이 존재할 때의 오율과 협대역 간섭이 존재할 때의 오율을 각각 계산하여 더하면 된다.

가우스 잡음만이 존재할 때의 잡음 N_I 는 $N_I = N_0$ 이고, 가우스 잡음에 협대역 간섭이 존재할 때 $N_I = N_0 + N_I$ 가 된다. 따라서 협대역 간섭이 전체 대역에서 차지하는 부분 점유율이 ρ 이므로 평균 비트 오율식은 다음과 같이 나타내진다[5].

$$P_e = (1 - \rho)P_b + \rho P_b \\ = \frac{1 - \rho}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{SNRb}{2}} \right) + \frac{\rho}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{2 \left(\frac{1}{SNRb} + \frac{1}{SIR} \frac{1}{\rho} \right)}} \right) \quad (7)$$

여기서, SIR은 신호전력 대 간섭 전력 비이다.

그림 2는 협대역 간섭 환경에서 $N_s = 1$, $SIR = 3dB$ 인 경우 점유율에 따라 성능을 나타내고 있다. 간섭 점유율이 클수록 성능이 크게 열화되고 있다는 것을 알 수 있다.

IV. Turbo 부호화 기법

터보부호는 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional)를 병렬로 연결하고, 두 부호기의 출력 시퀀스를 다르게 하기 위해서 두 부호기를 인터리버로 나누어 놓은 형태를 취하고 있다. 데이터 시퀀스가 프레임 단위로 전송된다면 터보 부호기 메모리가 v 인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로써 생각할 수 있다. 또한 RSC 부호기의 모든 상태를 0으로 만들기 위해서 v 개의 정보 비트를 한 프레임 끝에 붙인다. 따라서 두 개의 RSC 사이에 놓인 인터리버 n 은 데이터 프레임과 테일 비트(tail bit) v 가 더해진 길이이다. 이 때, 터보 부호기에서는 시스템틱 시퀀스(systematic sequence)와 패리티 시퀀스(parity sequence)로 구성된 부호 시퀀스로 부호화한다[6].

터보 부호에 대하여 심볼당 에너지를 다음과 같이 비트당 에너지로 바꿀 수 있다.

$$E_s = E_b R_c \frac{n - v}{n} \quad (8)$$

여기서, R_c 는 부호율이고, $(n - v)/n$ 는 부호기를 종료시키기 위해서 v 개의 테일 비트를 사용한 것을 고려하기 위한 상수이다. 모두 0인 시퀀스가 보내지고 그 중 잘못된 부호어를 복호화할 때 최소한 2비트의 정보에 에러가 발생하게 된다. 그러므로 터보 부호의 에러 확률에 관한 오율식

은 다음과 같다[7].

$$P_b \geq \frac{2}{N-v} Q \left[\left(\frac{2E_b}{N_0} d_{free} R \frac{N-v}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (9)$$

그림 2에서와 같이 AWGN 환경에서 데이터 서비스의 기준인 10^{-6} BER을 만족하는 SNR은 11.45[dB]이다. 이때 협대역 간섭의 영향을 받으면 이 기준을 만족하지 못한다. 따라서 강력한 부호화 기법인 Turbo Code를 사용함으로써 오류 정정 개선 정도를 평가하였다.

그림 3에서 그림 6은 협대역 간섭 환경에서 Turbo Code을 적용한 UWB 시스템의 성능을 협대역 간섭 점유율과 SIR, SNR의 변화에 따라 성능 개선을 나타내고 있다.

UWB 시스템 전체 대역폭에서 협대역 간섭 점유율이 클수록(0.1이상) 뚜렷한 성능 향상을 보이고, SNR보다 SIR의 증가로 성능이 커짐을 알 수 있다. 그러나, 낮은 신호 전력에서는 데이터 서비스 기준인 10^{-6} BER을 만족하지 못하고 일정 성능을 유지(error floor)함을 알 수 있다. 또한 AWGN 환경에서 데이터 서비스를 만족하는 11.45[dB]를 기준으로 하였을때, SIR=12[dB] 이하에서 10^{-6} BER을 만족하지만 간섭 점유율이 적은(0.1미만) 경우에는 SIR=16[dB] 이상에서 10^{-6} BER을 만족하고 성능 개선도 적음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 FCC에서 지정한 UWB 시스템 허용 주파수 내에 존재하는 협대역 간섭에 대한 성능 분석 및 Turbo Code를 적용함으로써 성능 개선 정도를 분석하였다.

협대역 간섭에 의해 UWB시스템 성능은 현저히 열화됨을 알 수 있었고, 간섭의 점유율에 따라 크게 변화가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 성능을 개선하기 위해 Turbo Code를 사용하였으나 점유율이 적은(0.1미만) 협대역 간섭에서는 성능 개선이 적음을 알 수 있었다.

따라서 강력한 오류 정정 능력을 갖춘 Turbo Code일지라도 점유율이 적은 협대역 간섭일 때는 요구되는 서비스를 만족하기 위해 높은 수신전력이 요구되기 때문에 추가적인 개선기법을 적용해야 할 것이다.

참고문헌

[1] 이형수, 김재명, "UWB 무선 기술 및 규제

동향", 한국통신학회 vol. 20, no. 2, 2003. 02.
 [2] P.Witthington, "Impulse Radio Overview", Time domain Inc. 1998.
 [3] <http://www.fcc.gov/>
 [4] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation", Proc. IEEE MILCOM 93, pp. 447-450, oct. 1993.
 [5] 이양선, 김지웅, 우병훈, 강희조, "간섭 환경에서 초광대역 임펄스 무선 전송 시스템의 성능 분석", 한국해양정보통신학회 춘계학술대회, pp. 563-567, 2002. 05
 [6] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error-correcting coding and decoding : turbo code," in proc. IEEE ICC 1993, pp. 1064-1070, 1993.
 [7] W. J. Blackert, E. K. Hall, and S. G. Wilson, "An upper bound on turbo code free distance," IEEE ICC, vol. 2, June. 1996.

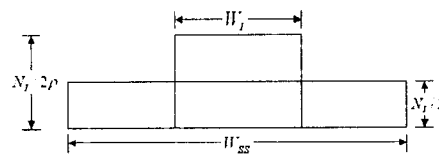


그림 1. 협대역 간섭 신호의 주파수 분포 모델

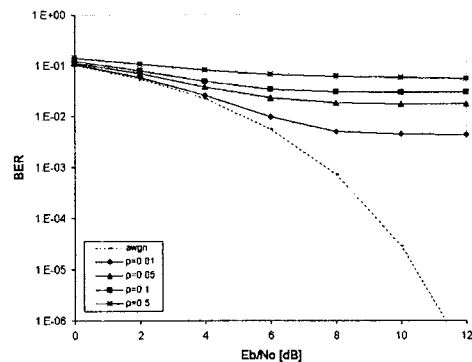


그림 2. 협대역 간섭 환경에서 UWB 시스템의 성능 ($N_s=1, SIR=3dB$)

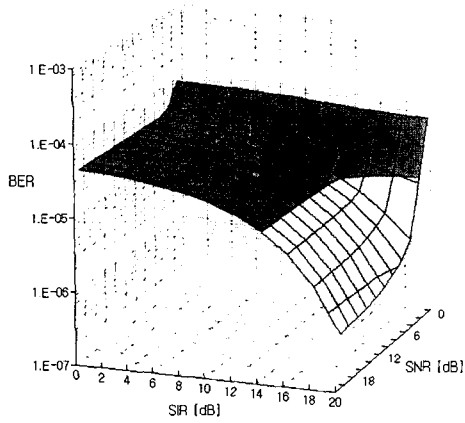


그림 3. 협대역 간섭 환경에서 Turbo Code UWB 시스템의 성능 ($\rho=0.01$ 일 때)

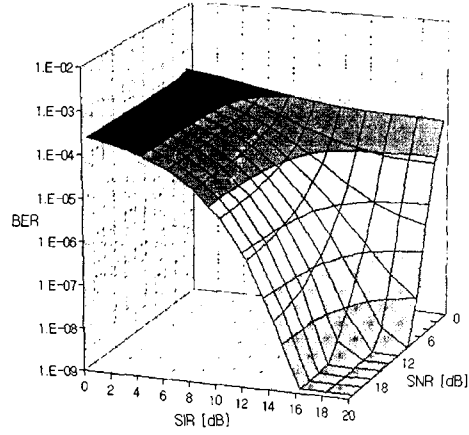


그림 5. 협대역 간섭 환경에서 Turbo Code UWB 시스템의 성능 ($\rho=0.1$ 일 때)

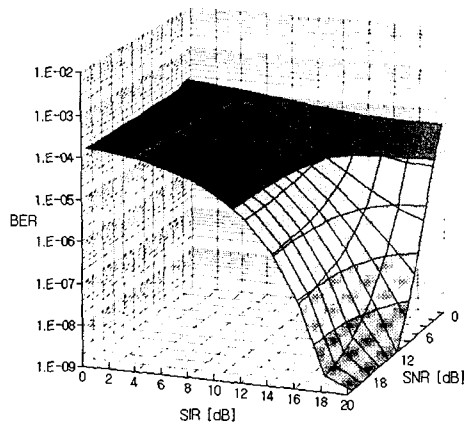


그림 4. 협대역 간섭 환경에서 Turbo Code UWB 시스템의 성능 ($\rho=0.05$ 일 때)

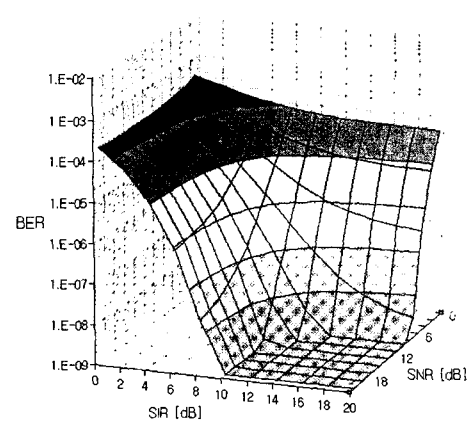


그림 6. 협대역 간섭 환경에서 Turbo Code UWB 시스템의 성능 ($\rho=0.5$ 일 때)