

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 UWB 통신 시스템의 채널특성에 관한 연구

이양선* 강희조*

* 목원대학교 IT공학부

A Study on the Channel Characteristic of UWB Communication System for Ubiquitous Computing

Yang-Sun Lee* Heau-Jo Kang*

* Dept. of IT Eng., Mokwon Univ.

E-mail : satcom2000@korea.com

요 약

본 논문에서는 유비쿼터스 네트워킹을 위한 초고속 근거리 무선 전송기술로서 각광받고 있는 초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신 기술을 분석하고 실내 근거리 다중접속 환경 및 페이딩 환경에서의 시스템 성능을 분석하였다.

다중접속 간섭 환경은 UWB 시스템의 전송률과 간섭 수에 따른 시스템 성능을 분석하고, 페이딩 채널은 기존에 발표되었던 UWB 전파 실험을 통한 데이터를 바탕으로 Nakagami-m분포 모델을 이용하여 페이딩 지수 m에 따른 다양한 채널 환경을 고려하였다.

I. 서 론

최근들어 무선 통신 시스템의 급격한 증가로 인해 한정된 주파수 자원의 효과적인 분배가 큰 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제에 대한 해결책으로서 기존 시스템과 동일한 주파수 대역을 사용하면서 이들 시스템에 거의 간섭을 미치지 않는 새로운 방법을 이용하는 것을 들 수 있다.

이러한 접근 방법 가운데 하나로 잡음대역 아래로 무변조시켜 전송하는 초광대역(Ultra Wideband : UWB) 기술이 관심을 모으고 있다[1],[2].

2002년 2월 FCC에서 UWB 기술을 상업용으로 부분적 허용을 승인함으로써 UWB 기술을 이용하는 통신 시스템 개발이 활발하게 진행되고 있고 현재 IEEE 802.15.3a의 물리 계층 표준으로 제안되고 있으며 이를 위해 여러 UWB 방식들이 제시되고 있다[3].

그러나, UWB 기술은 아직 충분히 개발되지 않은 단계이고 통신 시스템의 효율적인 디자인을 위해 새로운 실험과 이론적인 활동들이 요구되어지고 있다. 특히, UWB 방식들에 대한 분석 및 성능 향상을 위해서는 UWB 채널 모델링 및 간섭에 관한 연구가 요구되어진다.

따라서, 본 논문에서는 다중접속 시스템 설계 시 고려되는 다중접속 간섭과 UWB 전파 채널에 적합한 Nakagami-m분포 페이딩 모델을 이용하여 PPM 변조된 UWB 통신 시스템의 채널 성능을 분석하였다.

II. TH-PPM UWB 시스템

2.1 TH-PPM 시스템 특성

본 논문에서 고려한 UWB 시스템은 수신 펄스 $p_{RX}(t)$ 에 대해, 가우시안 함수 $\exp(-2\pi[t/t_n]^2)$ 의 2차 미분된 형태로서 모델링 된다고 가정한다. 수신 펄스 $p_{RX}(t)$ 는 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 와 주기 T_p 를 갖는다. 이 경우 송신기에서는 아래 식(1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p_{TX}(t)$ 를 전송한다[4].

$$p_{TX}(t) = t \exp\left(-2\pi\left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (1)$$

여기서, t_n 은 펄스의 폭을 결정하는 파라미터로, 수 나노 초 이하의 매우 작은 값을 사용한다. 식 (1)과 같은 가우시안 모노사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 입력 파형 $p_{RX}(t)$ 는 가우시안 함수의 2차 미분된 형태로써 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{RX}(t) = \left(1 - 4\pi \left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \exp\left(-2\pi \left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (2)$$

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는 t_n 에 의해 결정된다.

UWB 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 수신 신호 $p_{RX}(t)$ 의 정규화된 신호 상관함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다[5].

$$\begin{aligned} \gamma_p(\tau) &= \frac{1}{E_p} \int_{-\infty}^{\infty} p_{RX}(t) p_{RX}(t+\tau) dt \\ &= \left[1 - 4\pi \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2 + \frac{4\pi^2}{3} \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^4\right] \exp\left(-\pi \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2\right) \end{aligned} \quad (3)$$

UWB 시스템의 복조는 기준 신호 $v(t)$ 를 사용하는 상관기를 이용한다. 기준 신호는 다음과 같다 [5].

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t-\delta) \quad (4)$$

수신단에서 완벽한 시간동기를 이룬다는 가정하에 다원접속 간섭이 배제되는 경우, 단일 수신된 신호로 정리하면,

$$\begin{aligned} r(t) &= r_{RX}(t-\tau) + n(t) \\ &= \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sqrt{E_p} p_{RX}(t-jT_f - c_j T_c - \delta \alpha_{(j/N_s)} - \tau) + n(t) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, $n(t)$ 는 양측 전력 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 AWGN 잡음, τ 는 전파지연이다.

완벽한 시간동기의 가정하에서 상관기의 해석은 다음과 같다.

$$\beta_i = \sum_{j=N_s}^{(i+1)N_s} \int_{t_j}^{t_{j+1}T_f} r(t) v(t-jT_f - c_j T_c - \tau) dt \quad (6)$$

최종적으로 결정 회로에서 판단된 데이터 \hat{a}_i 는 다음과 같다.

$$\hat{a}_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta_i \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

따라서, 위와 같은 조건에서 AWGN 환경에서 단일 사용자 UWB 시스템의 비트 오류 P_b 는 다음

과 같다[4].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{N_s E_p}{2N_0}} \sqrt{1-\gamma(\delta)}\right) \quad (8)$$

여기서, $N_s E_p = E_b$, 단일 정보 비트를 전송하는데 필요한 에너지이다.

2.2 실내 무선 채널 모델

본 논문에서는 실내 환경으로써 송수신간의 상대적인 작은 이동에 의해 발생하는 진폭 변동으로 나타내는 small-scale 페이딩 환경을 고려하고 Cassioli가 표현한 Nakagami 분포의 채널 모델을 이용하여 채널성능을 분석하였다.

통신로상에서 발생하는 여러 가지 심도(depth)의 페이딩을 나타낼 수 있는 Nakagami-m분포 페이딩 모델에 의하면 페이딩을 받은 수신신호 진폭 R의 확률밀도함수 p(R)은 다음과 같다[6].

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega_S^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega_S}\right) \quad (9)$$

여기서, $\Gamma(\cdot)$: Gamma 함수

$\Omega_S/2$: 수신신호의 평균 전력

$\Omega_S = R^2$

III UWB 시스템의 성능해석

3.1 Multi-user TH-PPM 시스템 성능 분석

N_u 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(9)와 같다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t-\tau_1) + n_{tot}(t) \quad (10)$$

$$n_{tot}(t) \equiv n(t) + \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t-\tau_k) \quad (11)$$

$$= N_s \sigma_n^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2$$

여기서, $\sigma_n^2 = N_0(1-\gamma(\delta))$

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 &= T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt \right]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [\gamma(s) - \gamma(s+\delta)]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} G(\delta) \end{aligned} \quad (12)$$

이고, $G(\delta) = \int_{-\infty}^{\infty} [\gamma(s) - \gamma(s+\delta)]^2 ds$ 이다.

여기서, $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자 각각이 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터비트의 발생이 랜덤하다

면, 식(10)에서 다른 사용자에 의한 간섭은 N_u 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤변수로 근사되며, $n_{tot}(t)$ 역시 가우시안 분포를 갖게 된다. 따라서, 다원 접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 비트 오류율 P_b 는 아래와 같이 구해진다[5].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{ \left((SNR)_1^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right)^{-1} } \right) \quad (13)$$

여기서, $(SNR)_1 = A_1^2 \frac{N_s E_b}{2N_0} (1 - \gamma(\delta))$ 이고,

$$R_s = \frac{1}{N_s T_f} \quad (\text{bps})$$

$$P(\delta) = \frac{G(\delta)}{(1 - \gamma(\delta))^2} \quad \text{이다.}$$

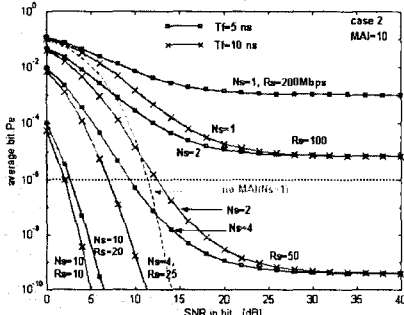


그림 1. UWB 시스템에서 다중 접속 간섭에 따른 성능 변화

그림 1에서 다중 접속 간섭이 없는 경우 11.45dB에서 데이터 서비스 기준 BER(10^{-6})을 만족하는데 비해 다중 접속 간섭 발생 시 시스템 성능이 크게 열화 되는 것을 알 수 있다. 특히, 50Mbps의 전송율 이상에서 다중 접속 간섭으로 인하여 시스템 성능이 현저하게 열화 되는 것을 알 수 있다. 이는 고속 전송을 수행할수록 다중 사용자에 대한 간섭이 심하다는 것을 말해준다. 따라서, 고속 전송 UWB 시스템 설계 시, 다중접속 간섭을 고려한 시스템 설계가 필요하고 T_f 를 이용한 전송율의 변화는 50Mbps 이상의 고속 전송에서 성능 향상에 도움을 주지만 최대 사용자 수를 감소시키고 N_s 의 증가는 전송율의 감소를 의미하기 때문에 실내 환경에서 사용자 수의 설정에 따라 최대 T_f 를 설정하고 서비스 품질에 따라 추가적인 채널 부호화 기법을 적용함으로써 요구되는 수신 SNR을 감소시킬 수 있다.

그림 2는 50Mbps 이상의 고속 전송 시 다중접속 간섭에 의한 UWB 시스템의 성능을 보여주고 있다. 전송율 50Mbps이상의 고속 전송 환경에서 부호율 (15/7)인 채널 부호화 기법을 적용함으로써 뚜렷한 성능 개선을 보임을 알 수 있다. 다중접속 간섭 수가 50 이하인 경우 성능개선 정도가 확실히 나타나고 SNR 10dB 이하에서 기준 서비스 오류율을 만족함을 알 수 있다. 그러나, 다중접속 간섭 수 50

이상에서는 여전히 요구되는 기준 BER을 만족하지 못함을 알 수 있다.

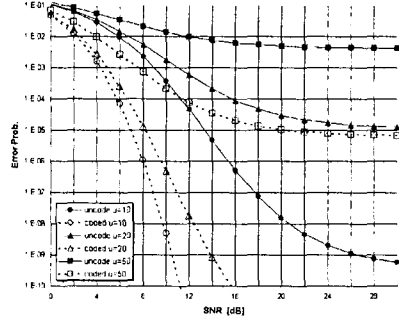


그림 2. 다중접속 간섭 환경에서 채널부호화 기법을 적용한 UWB 시스템 성능

3.2 m-분포 페이딩 환경에서 binary PPM UWB 시스템 성능 분석

페이딩에 의한 binary PPM UWB 시스템의 오류율은 식(8)과 식(9)에 의해 페이딩 심도지수 m 값으로 나타낼 수 있다.

$$P_{e-f} = \int_0^\infty P_b \cdot p(x) dx \quad (14)$$

문헌 [8]의 내용에 의하면, Nakagami 분포의 파라미터 m 값에 따라서 여러 가지 형태의 채널 환경을 나타낼 수가 있으며 UWB 채널의 small-scale 페이딩 특징을 잘 표현하였다. 또한, 여러 다른 위치에서 측정된 지연시간에 따른 m 값의 분포 특성이 약 1~5 사이의 통계적 m 분포 특성을 보임을 알 수 있었다[7],[8].

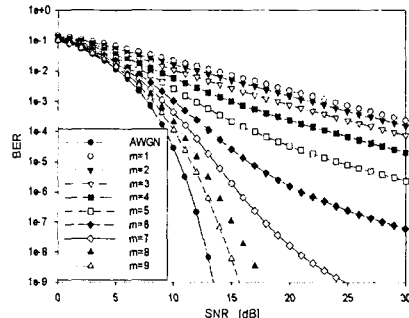


그림 3. 페이딩 환경에서 m값에 따른 binary PPM UWB 시스템 성능($N_s=1$)

그림 3은 $N_s=1$ 인 경우로 m 값에 따른 다양한 채널 환경에서의 TH-PPM UWB 시스템 성능을 나타내고 있다.

AWGN 환경에서는 11.45dB에서 기준 서비스를 만족하는데 비해, 페이딩 환경에서는 m 값이 8이상인 채널 환경에서 AWGN 성능과 근접한 수신성능

을 보임을 알 수 있다. 그러나, 5이하의 m분포 채널 특성에서는 기준 서비스를 만족하지 못하는 심각한 성능 열화를 보임을 알 수 있다. 따라서, UWB 채널 환경에서는 페이딩 현상으로 인한 성능 열화가 심각함을 알 수 있다.

본 논문에서는 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하기 위해 채널부호화를 적용함으로써 UWB 시스템의 성능을 개선하였다. 그림 4는 채널 부호화를 적용하였을 때 페이딩 환경에서의 시스템 성능을 보여주고 있다.

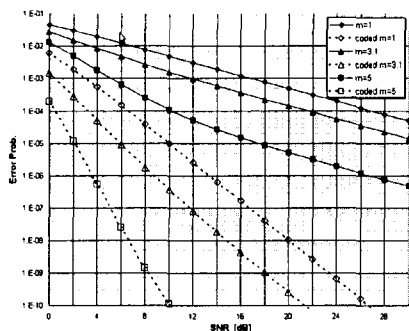


그림 4. 페이딩 환경에서 채널부호화 기법을 적용한 UWB 시스템 성능

결과와 같이, 심각한 페이딩 현상으로 인해 시스템 성능이 크게 열악해 지는 반면, 채널부호화 기법을 적용함으로써 수신 SNR 14dB 이하에서 요구되는 BER을 만족할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 네트워킹을 위한 초고속 근거리 무선 전송기술로서 각광받고 있는 초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신 기술을 분석하고 다중접속 시스템 설계 시 고려되는 다중접속 간섭과 UWB 전파 채널에 적합한 Nakagami-m분포 페이딩 모델을 이용하여 TH-PPM UWB 통신 시스템의 채널 성능을 분석하였다.

결과에 의하면, 다중접속 간섭 발생 시 시스템 성능이 크게 열화 되는 것을 알 수 있었다. 특히, 50Mbps의 전송을 이상에서 다중접속 간섭으로 인하여 시스템 성능이 현저하게 열화 되는 것을 알 수 있었다. 이는 고속 전송을 수행할수록 다중 사용자에 대한 간섭이 심각하다는 것을 말해준다.

본 논문에서는 다중접속 간섭에 의한 성능 열화를 개선하기 위해 채널부호화 기법을 적용함으로써 전송률 50Mbps 이상의 고속 전송 환경에서도 효과적인 성능개선을 얻을 수 있음을 확인하였다. 그러나, 다중접속 간섭수가 50이상에서는 여전히 요구되는 서비스를 만족하지 못함을 알 수 있었고 따라서, 간섭을 효과적으로 제거할 수 있는 간섭 제거 기법이 추가적으로 요구됨을 알 수 있었다.

신호대 잡음 비와 페이딩 지수 m에 따른 채널 성능을 분석한 결과, m=1~5사이의 페이딩 환경에서 심각한 성능 열화를 보임을 알 수 있었다. UWB 전파 채널의 지연시간에 따른 m값의 분포 특성이 약 1~5 사이의 통계적 m분포 특성을 갖는다는 점에서 UWB 시스템은 페이딩에 의한 성능 열화가 심각함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하기 위해 채널부호화를 적용함으로써 UWB 시스템의 성능을 개선하였다. 결과적으로, 심각한 페이딩 현상으로 인해 시스템 성능이 크게 열악해 지는 반면, 채널부호화 기법을 적용함으로써 수신 SNR 14dB 이하에서 요구되는 BER을 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

V. 참고 문헌

- [1] P. Withington, "UWB Regulation & Applications", UWB Workshop, www.timedomain.com, 11, 2001.
- [2] Aetherwire & Location Inc., www.aetherwire.com.
- [3] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System", ET-Docket, pp. 98-153.
- [4] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse Radio : How It Works," IEEE Comm. Lett., vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [5] F. Ramirez-Mireles, "On performance of ultra wideband signals in Gaussian noise and dense multipath," accepted for publication in IEEE Trans. on Veh. Technol.1999.
- [6] Nakagami. M., "The m-distribution, a general formular of intensity distribution of rapid fading," In Statistical Methods of Radio Wave Propagation, W.C. Hoffman Ed., New York: Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.
- [7] H. Hashemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation channels," IEEE J. select. Areas Commun., vol. 11, no. 7, pp. 967-978, 1993.
- [8] D. Cassioli, M. Z. Win and A. F. Molisch, "A statistical model for the UWB indoor channel," IEEE J. Select Areas Commun, Vol. 20, pp. 1247-1257, Aug. 2002.