

# 불완전 채널 환경에서 초광대역 전송 시스템의 효율적인 전송에 관한 연구

이양선\* 강희조\*

\* 목원대학교 컴퓨터멀티미디어컨텐츠공학부

## A Study on the Efficient Transmission of UWB System in Imperfect Channel Environment

Yang-Sun Lee\* Heau-Jo Kang\*

\* Dept. of Computer & Multimedia Contents Eng., Mokwon Univ.

E-mail : yslee@mokwon.ac.kr

### Abstract

본 논문에서는 중첩되는 두 개 이상의 PAN의 무선영역이 간섭을 일으키는 경우와 다수의 무선기기가 동시에 접속하는 경우에 대비하여 간섭마진 정보를 이용한 가변 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템을 제안한다. 또한, 가변 전송율 UWB 통신 시스템을 불완전 다중접속 간섭 환경에서 고정 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템과의 성능을 비교 분석하고 전송효율을 평가하였다.

### I. 서론

UWB 무선기술은 기존의 시스템에 비하여 셀의 크기가 훨씬 더 작아지고 전파환경이 더욱 열화될 것으로 예상된다. 또한 저전력 전송을 요구하는 UWB 무선기술을 이용하여 WPAN 영역에서 가전기기간의 데이터 스트리밍이 전송될 수 있는데, 이때, 다수의 가전기기 간의 데이터 스트리밍 전송이 동시에 수행되는 경우 CDMA 통신에서와 같이 원근문제(Near-Far Problem)가 발생할 수 있다. 즉, 가까운 거리의 가전기기 사이의 데이터 스트리밍과 먼 거리의 가전기기 사이의 데이터 스트리밍을 보내는 전력의 세기가 동일할 경우 가까운 거리의 전송의 경우에는 필요 이상의 전력을 사용하고 다른 가전기기에 불필요한 간섭신호를 과도하게 만들 수 있게된다. 또한, 하나의 네트워크 사이의 가전기기들 간의 데이터 전송이라면 특정의 기기가 코디네이터 역할을 하여 이들간의 전송을 조정할 수 있으나, 두 개 이상의 PAN의 무선 영역이 간섭을 일으키는 경우에 있어서는 이러한 코디네이터의 역할을 기대하기는 힘들다[1]-[3].

따라서, 본 논문에서는 중첩되는 두 개 이상의 PAN의 무선영역이 간섭을 일으키는 경우와 다수의 무선기기가 동시에 접속하는 경우에 대비하여 간섭마진(Interference Margin) 정보를 이용한 가변 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템을 제안한다.

또한, 가변 전송율 UWB 통신 시스템을 불완전 다중접속 간섭 환경에서 고정 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템과의 성능을 비교 분석하고 전송효율을 평가하였다.

### II. TH binary PPM UWB 시스템

#### 2.1 모노사이클 펄스 특성

UWB 시스템의 펄스  $p(t)$ 는 주기  $T_p$ 와 에너지  $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 를 갖는다. 송신기에서는 아래 식(1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스  $p_{TX}(t)$ 를 전송한다.

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

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 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[4].

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

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는  $t_n$ 에 의해 결정된다.

IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 송신 신호  $p_{TX}(t)$ 에 대응되는 정규화된 신호 상관함수  $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다[5].

$$\gamma_p(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t) p_{RX}(t+\tau) dt$$

$$= \left[ 1 - 4\pi \left[ \frac{\tau}{t_n} \right]^2 + \frac{4\pi^2}{3} \left[ \frac{\tau}{t_n} \right]^4 \right] \exp \left( -\pi \left[ \frac{\tau}{t_n} \right]^2 \right)$$
(3)

수신단 상관기에서 사용되는 기준 신호  $v(t)$ 는 식(4)와 같다.

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

### 2.2 다원 접속 간섭 환경에서 UWB 시스템 성능 분석

$N_u$ 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(5)와 같다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t)$$
(5)

$$n_{tot}(t) \equiv n(t) + \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k)$$
(6)

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

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

$$\sigma_a^2 = T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt \right]^2 ds$$

$$= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [\gamma(s) - \gamma(s+\delta)]^2 ds$$
(7)

$$= \frac{E_p}{T_f} G(\delta)$$

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 랜덤하다면, 식(6)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 UWB 시스템의 비트 오율  $P_b$ 는 아래와 같이 구해진다[6].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\left\{ (SNR)^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left( \frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1}} \right)$$
(8)

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

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

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

### III. 가변 전송율 UWB 시스템

본 논문에서는 중첩되는 두 개 이상의 PAN의 무선영역이 간섭을 일으키는 경우와 다수의 무선 기기가 동시에 접속하는 경우에 대비하여 간섭 마진 정보를 이용한 가변 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템을 제안한다. 제안한 시스템의 송수신 구조는 그림 1과 같다.

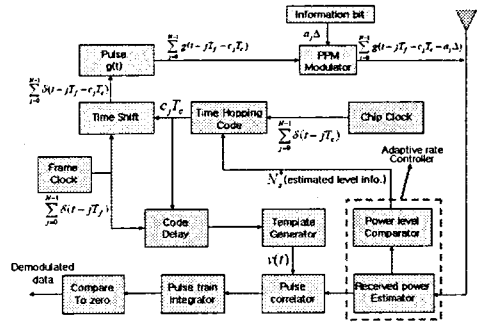


그림 1. 가변 전송율 UWB 시스템 송수신 구조

그림 1의 구조는 수신 입력단에서 수신되는 신호의 전력을 추정하여 간섭 마진 정보를 추출한 후, 추출된 정보에 따라 송신기의 펄스 반복 파라미터를 조정하여 전송율을 가변하여 전송하게 된다.

표 1은 다원접속 간섭 환경에서 제안한 가변 전송율 UWB 시스템의 성능분석을 위한 파라미터를 나타내고있다.

표 1. 가변 전송율 TH-PPM UWB 시스템 성능 분석 파라미터

Parameter	Symbol	Value
Waveform width parameter	$t_n$	0.03 ns
Waveform width	$T_p$	0.07 ns
Binary PPM parameter	$\delta$	0.017 ns
Autocorrelation value	$\gamma(\delta)$	-0.6183
Pulses per bit	$N_s$	1 2 4 5 variable
Frame width	$T_f$	10 ns
Bit rate(Mbps)	$R_s$	100 50 25 20 22.75 (adaptive rate)

그림 2는 단일 접속 환경에서 전송율에 따른 UWB 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

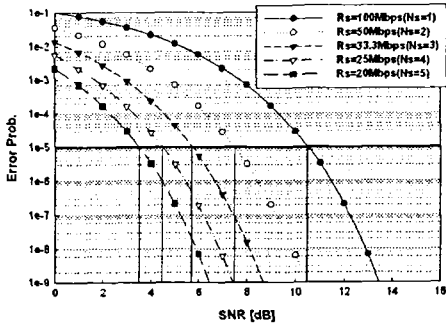


그림 2. 2A-WGN 환경에서의 TH-PPM UWB 시스템 성능 변화

그림 2는 단일 접속 환경에서 각 전송율에 따른 BER 특성을 나타낸 것으로, 데이터 서비스의 기준 오율인  $10^{-5}$  BER에서 전송율 100Mbps, 50Mbps, 33Mbps, 25Mbps, 20Mbps에 대한 각각의 수신 SNR은 약 10.5dB, 7.5dB, 5.5dB, 4.5dB, 3.5dB임을 알 수 있다. 그림 3은 동시접속 수(MAI)가 40인 환경에서 각 전송율에 따른 BER 특성을 나타내고 있다.

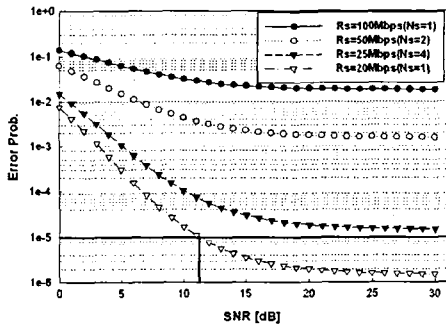


그림 3. 다원접속 간섭 환경에서 전송율에 따른 UWB 시스템 BER 성능(MAI=40)

그림 3에서 데이터 서비스 기준오율은  $10^{-5}$  BER을 만족하는 전송율은 20Mbps이고 요구되는 SNR은 약 11dB 임을 알 수 있다. 전체적으로 UWB 통신 시스템은 다원접속 간섭의 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 MAI와 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템의 BER 특성을 나타내고 있다.

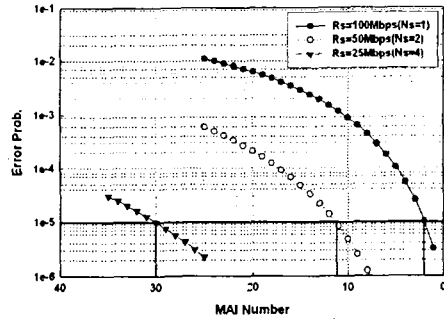


그림 4. 동시접속 수와 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템 성능(SNR=11dB)

그림 4는 MAI의 변화에 따른 각 전송율의 BER 특성을 나타낸 것으로, 각 전송율이 동일한 BER을 얻기 위한 MAI를 나타낸다. 예를 들어, SNR 27dB를 기준으로 20Mbps 전송율은 MAI=40인 경우  $10^{-5}$  BER을 만족하며, 25Mbps, 50Mbps, 100Mbps 전송율은 MAI=30, 11, 2에서  $10^{-5}$  BER을 만족함을 알 수 있다. 그림 4는 MAI=40인 경우의 20Mbps 전송율의 기준 BER을 만족하는 SNR을 기준으로 하여 MAI를 결정하였다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 가변 전송율 UWB 방식과 각각의 전송율에 따른 UWB 방식의 BER 특성을 비교한 것으로, 가변 전송율 방식을 채용한 경우는 동시접속 수가 변하지 않을 때(MAI=40)와 동시접속 수가 변화할 때(variable MAI)의 BER 특성을 나타낸다.

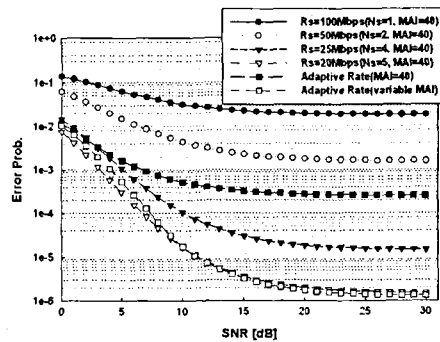


그림 5. 다원접속 간섭환경에서 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템과 가변 전송 UWB 시스템 성능

MAI가 변하지 않을 때의 가변 전송율 방식을 채용한 BER 특성은 MAI=40인 20Mbps 전송율의 BER 보다 성능이 크게 열화되고 기존 서비스를 만족하지 못하는 성능을 보임을 알 수 있고, MAI가 변화할 때의 가변 전송율 방식을 채용한 BER 특성은 MAI=40인 20Mbps 전송율의 BER과 거의

동일한 성능을 유지함을 알 수 있다. 위 그림에서 분석한 가변 전송율 방식은 불완전한 동시접속 환경에서 전송율을 가변적으로 적용하여 전송하는 방식으로써 평균 전송율은 약 22.7Mbps를 갖는다. 따라서, 가장 성능이 우수한 20Mbps 전송율과 동일한 BER 성능을 유지하면서 전송율을 향상시키게 됨을 알 수 있다.

그림 6에서는 각 전송율과 가변 전송율 방식의 Throughput을 각각 비교하였다.

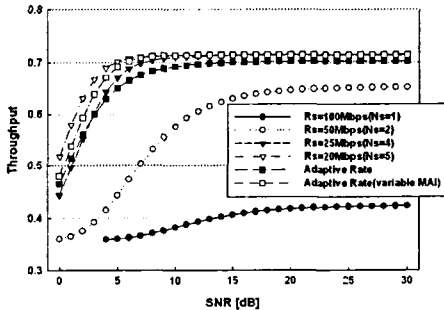


그림 6. 다중접속 간섭환경에서 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템과 가변 전송 UWB 시스템 throughput

전체적으로 동시접속 수가 변화하는 불완전 채널 환경에서는 가변 전송율을 적용한 TH-PPM UWB 시스템을 이용함으로써, 25Mbps 이상의 전송율을 갖는 UWB 시스템의 Throughput 보다 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한, 동시접속 수가 일정한 간섭 환경에서는 낮은 SNR에서 20Mbps 전송율의 Throughput과 비교하여 약간의 감소한 정도의 성능을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, WPAN 네트워크에서 피코넷을 형성 시, 접속 단말이 유동적인 환경에서는 본 논문에서 제안한 가변 전송율을 갖는 TH-PPM UWB 방식을 채용함으로써 고품질을 유지하면서 고속의 서비스를 제공할 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 중첩되는 두 개 이상의 PAN의 무선영역이 간섭을 일으키는 경우와 다수의 무선 기기가 동시에 접속하는 경우에 대비하여 간섭마진(Interference Margin) 정보를 이용한 가변 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템을 제안한다. 또한, 가변 전송율 UWB 통신 시스템을 불완전 다중접속 간섭 환경에서 고정 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템과의 성능을 비교 분석하고 전송효율을 평가하였다.

결과에 의하면, MAI가 변하지 않는 경우에서 가변 전송율 방식을 채용한 BER 특성은 MAI=40인 20Mbps 전송율의 BER 보다 성능이 크게 열

화되고 기존 서비스를 만족하지 못하는 성능을 보였고, MAI가 변화하는 경우에서 가변 전송율 방식을 채용한 BER 특성은 MAI=40인 20Mbps 전송율의 BER과 거의 동일한 성능을 유지함을 알 수 있었다.

본 논문에서 분석한 가변 전송율 방식은 불완전한 동시접속 환경에서 전송율을 가변적으로 적용하여 전송하는 방식으로써 평균 전송율은 약 22.7Mbps를 갖는다. 따라서, 가장 성능이 우수한 20Mbps 전송율과 동일한 BER 성능을 유지하면서 전송율을 향상시키게 됨을 알 수 있었다. 또한, 가변 전송율을 적용한 TH-PPM UWB 시스템을 이용함으로써, 25Mbps 이상의 전송율을 갖는 UWB 시스템의 Throughput 보다 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 동시접속 수가 일정한 간섭 환경에서는 낮은 SNR에서 20Mbps 전송율의 Throughput과 비교하여 약간의 감소한 정도의 성능을 나타내었다.

따라서, WPAN 네트워크에서 피코넷을 형성 시, 접속 단말이 유동적인 환경에서는 본 논문에서 제안한 가변 전송율을 갖는 TH-PPM UWB 방식을 채용함으로써 고품질을 유지하면서 고속 서비스의 제공이 가능하리라 예상된다.

#### V. 참고문헌

- [1] N. Boubaker, and K. B. Letaief, "Performance analysis of DS-UWB multiple access under imperfect power control", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 9, pp. 1459-1463, Sep. 2004.
- [2] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 679-689, Apr. 2000.
- [3] F. Ramirez-Mireles, "Performance of ultrawideband SSMA using time hopping and M-ary PPM," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 19, pp. 1168-1196, June 2001.
- [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] 이양선, 강희조, "실내 다원접속 통신을 위한 TH Binary PPM IR 시스템의 성능 평가," *한국해양정보통신학회논문지*, 제6권, 제7호, pp. 1032-1037, 2002. 11.