

불완전 채널 환경에서 가변 전송율을 갖는 초광대역 전송시스템의 성능개선에 관한 연구

이양선* · 강희조*

* 목원대학교 컴퓨터멀티미디어컨텐츠공학부

A Study on the Perfomance Improvement of UWB System with Variable Bit-Rate 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 가변 전송율을 갖는 UWB 통신 시스템을 제안하고 다수의 무선 기기가 유동적으로 이동하는 피코넷 환경에서 다중접속 간섭 및 전송율에 따른 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 전송 품질을 향상시키기 위하여 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용하여 불완전 채널 환경에서의 시스템 성능을 평가하였다.

I. 서론

최근 이동통신 시스템에서 대용량화, 고신뢰화, 고품질화에 대한 요구는 전문가뿐만 아니라 일반인에게까지 침투해, 인프라를 기초로 한 다양한 서비스가 비즈니스화되고 있다. 이를 계기로 블루투스 등 근거리 무선 통신 시스템 시장에서는 100Mbps 이상의 고속으로 유비쿼터스적인 광대역 시스템을 실현할 수 있는 UWB(Ultra Wideband) 기술이 크게 주목을 받게 되었다.

UWB 무선기술은 기존의 시스템에 비하여 셀의 크기가 훨씬 더 작아지고 전파환경이 더욱 열화될 것으로 예상된다. 또한 저전력 전송을 요구하는 UWB 무선기술을 이용하여 WPAN 영역에서 가전기간의 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[1]-[2]. 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 고

속 데이터 서비스를 만족하기 위하여 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용하여 제한한 가변 전송율 UWB 통신 시스템의 성능을 평가하였다.

II. 가변 전송율 UWB 시스템

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. 제안한 시스템의 송수신 구조는 그림 1과 같다.

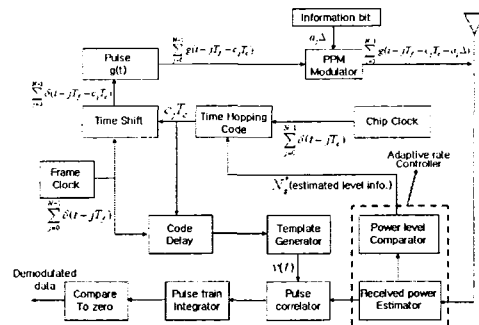


그림 1. 가변 전송율 UWB 시스템 송수신 구조

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

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

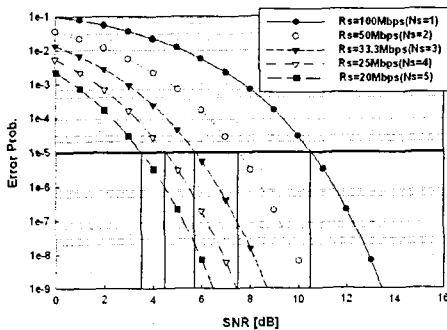


그림 2. AWGN 환경에서의 TH-PPM UWB 시스템 성능 변화

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 나타내고있다.

III. 가변 전송율 UWB 시스템 성능 평가

3.1 다원 접속 간섭 환경에서 UWB 시스템

N_u 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 첫 번

째 사용자를 기준으로 수신신호를 정리하면 식(1)와 같다.

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

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

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

$$\sigma_a^2 = T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt \right]^2 ds \\ = \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [\gamma(s) - \gamma(s+\delta)]^2 ds \quad (3) \\ = \frac{E_p}{T_f} G(\delta)$$

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(2)에서 다른 사용자에게 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[3].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\left\{ (SNR)_1^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1}} \right) \quad (4)$$

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

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

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

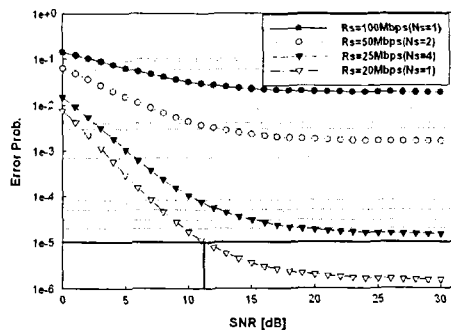


그림 3. 다원접속 간섭 환경에서 전송율에 따른 UWB 시스템 BER 성능(MAI=40)

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

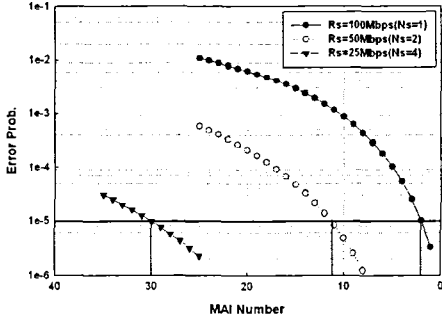


그림 4. 동시집속 수와 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템 성능(SNR=11dB)

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.

3.2 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용했을 때의 시스템 오류 성능

본 논문에서는 데이터 전송 서비스를 만족하기 위하여 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용하는 방식을 제안하였다. 기존의 ARQ 기법은 정보 전송 시 채널의 에러율이 높으면 전송지연이 증가하게 되는데 이와 같은 단점을 보완한 방식이 Truncated Type-II Hybrid ARQ 방식이다. 이 방식은 실제 이동통신 시스템에서 요구하는 에러율이 데이터 통신인 경우라도 error free (1×10^{-10})가 아닌 1×10^{-6} 정도라는데 기본 개념을 두고 있다.

전송효율 μ 는 다음 식으로 정의되며, 이의 역수는 throughput을 나타낸다.

$$\mu = \frac{n}{k} [P_c + 2(1 - P_c - P_b)P_i] \quad (5)$$

여기서, k/n : 부호율,

$P_c = (1 - P_{eo})^n$: 수신 신호에 오류가 없을 확률,

$P_b \leq [1 - (1 - P_{eo})^k] 2^{-(n-k)}$: C_0 부호를 수신한 후 검출 불가능한 오류를 가질 확률,

$P_i = P_c + (1 - P_c - P_b) \frac{q_0 - y}{1 - y}$: 패리티 비트를 수신한 후 변환 과정을 통해 원래의 신호로 복호 가능한 확률,

$$\text{단, } q_0 = \sum_{j=0}^l \binom{2n}{j} P_{eo}^j (1 - P_{eo})^{2n-j},$$

$$y = (1 - P_{eo})^n \left[2 \sum_{l=0}^t \binom{n}{l} P_{eo}^l (1 - P_{eo})^{n-l} - (1 - P_{eo})^n \right]$$

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시의 수신 오류 확률을 $P_r(E)$ 라 할 때, 본 논문에서는 재전송으로 인한 전송지연을 최소화 하기위해 한 번만 재전송 하는 경우를 고려하므로 오류식은 다음과 같이 된다[4].

$$\begin{aligned} P_r(E) &= P_r(A_0^d) + P_r(A_0^d E_1^E) \\ &= P_r(A_0^d) + P_r(A_0^d) P_r(E_1^E | A_0^d) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $P_r(A_0^d) = P_b$,

$$P_r(A_0^d) = P_d = 1 - P_c - P_b.$$

이다. 패리티 비트를 수신한 후 원래의 정보를 복호하지 못할 확률은 수신신호가 검출 불가능한 오류 패턴을 가질 확률과 정정 불가능한 오류 패턴을 가질 확률의 합이 되므로

$$P_r(E_1^E | A_0^d) = P_{eo} + P_d(1 - q_1) \quad (7)$$

이 된다. 그러므로 각각의 경우를 식 (6)에 대입하면 최종 오류식은 다음과 같이 구해진다[9].

$$P_r(E) = P_b + P_d \left(P_b + P_d \left(1 - \frac{q_0 - y}{1 - y} \right) \right) \quad (8)$$

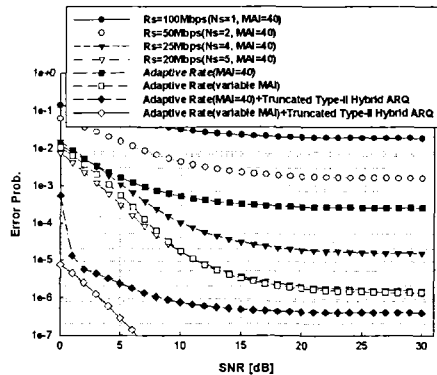


그림 5. 다원집속 간섭환경에서 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템과 가변 전송 UWB 시스템 성능

그림 5는 본 논문에서 제안한 가변 전송율 UWB 방식과 각각의 전송율에 따른 UWB 방식의 BER 특성을 나타내고 있고, 또한, 성능개선 기법으로 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 채용한 가변 전송율 방식에 대해 동시접속 수가 변하지 않을 때(MAI=40)와 동시접속 수가 변화할 때(variable MAI)의 BER 특성을 나타낸다.

MAI가 변하지 않을 때의 가변 전송율 방식을 채용한 BER 특성은 MAI=40인 20Mbps 전송율의 BER 보다 성능이 크게 열화되고 기준 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. 그러나 1×10^{-6} BER의 데이터 서비스 기준을 만족하지 못하는 성능을 보임을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용함으로써 낮은 SNR에서도 기준 서비스를 만족하는 성능 개선을 보임을 알 수 있다.

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

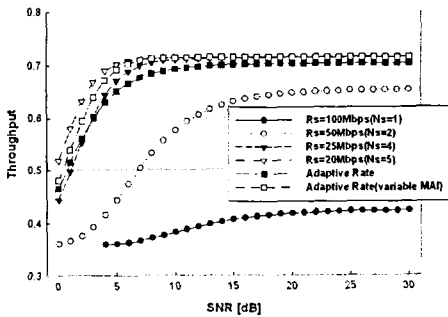


그림 6. 다중접속 간섭환경에서 전송율에 따른 TH-PPM UWB 시스템과 가변 전송 UWB 시스템 throughput

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 나타낼 수 있다. 따라서, WPAN 네트워크에서 피코넷을 형성 시, 접속 단말이 유동적인 환경에서는 본 논문에서 제안한 가변 전송율을 갖는 TH-PPM UWB 방식을 채용하고 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용함으로써 고품질을 유

지하면서 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 제안하였다. 또한, 가변 전송율 UWB 통신 시스템을 불완전 다중접속 간섭 환경에서 시스템 성능을 분석하고 성능 개선을 위하여 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법을 적용함으로써 고속 데이터 서비스를 위한 시스템 성능을 개선하였다.

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

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

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] Y. Lee, H. Kang, M. Lee, T. Kim, "A Study on the Effect of Interference on Time Hopping Binary PPM Impulse Radio System," *ICIC2005, Part II, LNCS3645*, pp. 665-674, Aug. 2005.
- [4] Q. Yang and V. K. Bhargava, "Delay and coding analysis of a truncated type-II hybrid ARQ protocol," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-40, no. 1, pp. 22-32, Feb. 1993.