

다중 사용자 간섭 환경에서 CCI Canceller를 채용한 TH PPM UWB-IR 시스템의 성능 개선

이양선*, 강희조**

요약

본 논문에서는 TH PPM UWB-IR 시스템에서 다중 접속시 발생하는 간섭을 개선하기 위해 CCI canceller를 적용하여 동일 채널 상의 다중 사용자 간섭을 제거 하였다. 결과에 의하면, CCI canceller를 적용함으로써 낮은 수신 전력에서도 고속의 데이터 전송이 가능한 수신 성능을 얻을 수 있었고, 100Mbps의 고속 전송 시에도 최대 동시 접속 수 40까지 수용이 가능한 채널 용량을 얻을 수 있었다.

Performance Improvement of TH PPM UWB-IR System with CCI Canceller in Multi-User Interference Environment

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

Abstract

In this paper, We applied CCI canceller to remove multi-user interference in co-channel environment and improved performance of TH PPM UWB-IR system. As a results, We could get reception performance that data transmission of high speed is available in small reception power applying CCI canceller. Also, We could get permission available channel capacity to maximum access number 40 in high speed transmission environment more than 100Mbps.

Key words : 초광대역(Ultra Wideband), IR(Impulse Radio), TH PPM(Time Hopping Pulse Position Modulation), CCI canceller

1. 서론

최근들어 무선 통신 시스템의 급격한 증가로 인해 한 정된 주파수 자원의 효과적인 분배가 큰문제로 대두되고 있다. 이러한 문제에 대한 해결책은 크게 신호의 협대역화와 새로운 주파수 대역의 이용으로 구분할 수 있다. 하지만, 신호의 협대역화는 한계가 있으며, 수십 GHz 이상의 새로운 주파수 대역에 대한 개발과 이용은 여러 기술적인 제약이 있는 것이 현실이다. 이러한 문제에 대한 근본적인 해결책으로서 기존 시스템과 동일한 주파수 대역을 사용하면서 잡음대역 아래로 무변조시켜 전송하는 초광대역 임펄스 통신시스템(Ultra Wideband impulse radio system : UWB-IR) 기술이 관심을 모으고 있다[1],[2].

2002년 2 월 FCC에서 UWB 기술을 상업용으로 부분적 허용을 승인함으로써 UWB 기술을 이용하는 통신 시스템 개발이 진행되고 있다[3].

본 논문에서는 TH PPM UWB-IR 시스템에서 다중 접속시 발생하는 다중 사용자 간섭을 개선하기 위해 CCI canceller를 적용하여 동일 채널 상의 간섭을 제거 하였다. 그 결과로 CCI canceller를 적용하지 않았을 때 보다 적용한 후의 성능이 개선되어짐을 보여주었다.

* 제일저자(First Author) : 이양선

접수일 : 2004년 7 월 22 일, 완료일 : 2004년 8 월 18 일

* Mokwon대학교 대학원 IT공학과 박사과정

yslee@mokwon.ac.kr

** Mokwon대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수

2. TH PPM UWB-IR 시스템

2.1 모노사이클 펄스 특성

UWB-IR 시스템의 펄스 $p(t)$ 는 주기 T_p 와 에너지

$$E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt \text{ 를 갖는다. 송신기에서는 아래 식}$$

(1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p_{TX}(t)$ 를 전송한다.

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

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 입력파형 $p_{RX}(t)$ 는 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[4].

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

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는 t_n 에 의해 결정된다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t) dt = 0 \quad (3)$$

식 (3)은 수신된 신호에서 DC 성분의 제거를 의미한다. UWB-IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 송신 신호 $p_{TX}(t)$ 에 대응되는 정규화된 신호상관함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다[5].

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

수신단 상관기에서 사용되는 기준 신호 $v(t)$ 는 식(5)과 같다.

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t - \delta) \quad (5)$$

본 논문에서는 실내 통신 시스템의 경우로 FCC에서 제정한 3.1~10.6GHz의 주파수 범위에서 사용 가능한 t_n 을 유도하고 그에 따른 -10dB 점유 대역폭과 중심 주파수 및 식 (4)를 이용하여 PPM 변조를 위한 최소천이 간격 δ 를 도출하여 표 1과 같이 정리하였다.

표 1. 한정된 주파수 범위에서 사용 가능한 UWB-IR 시스템 파라미터

기호	설명	case 1	case 2
t_n	펄스폭을 결정하는 파라미터	0.04 ns	0.0326 ns
F_{band}	-10 dB 점유대역	3.1 ~ 8.64 GHz	3.8 ~ 10.6 GHz
F_{center}	-10 dB 중심주파수	5.87 GHz	7.2 GHz
$B_{fractional}$	fractional 대역폭	943.78 MHz	944.44MHz
$T_p, T_p/2$	펄스주기	0.09(0.045) ns	0.072(0.036) ns
δ	데이터 "0"과 "1"에 따른 펄스 간격	0.0216 ns	0.0176

표 1에서와 같이 FCC에서 제정한 한정된 주파수 범위 안에서는 UWB-IR 시스템에서 적용 가능한 t_n 이 0.04~0.0326ns 로 매우 좁음을 알 수 있다.

3. UWB-IR 시스템의 성능 해석

3.1 TH PPM UWB-IR 시스템 시뮬레이터 설계

본 절에서는 표 1에서 유도한 case 2의 파라미터를 이용하여 본 논문에서 고려한 PPM 변조된 UWB-IR 시스템 시뮬레이터를 구현하고 시뮬레이터를 통하여 시스템 특성을 분석하였다.

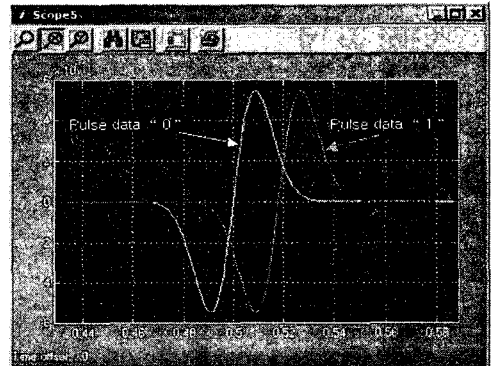


그림 1. 송신 모노사이클 펄스 신호

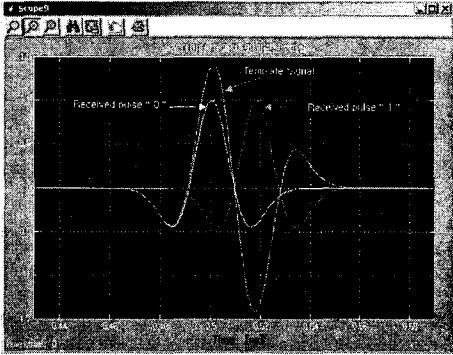


그림 2. 수신 신호와 상관기 기준파형

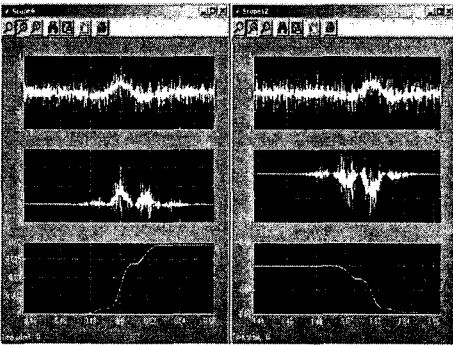


그림 3. 수신펄스에 따른 기준신호와의 출력 파형

그림1~그림3은 송신단 및 수신단 입사 신호와 수신단 상관기에서의 신호파형을 보여주고 있다. 송신단 scope의 파형은 식(1)과 같은 모노사이클 펄스로써 데이터 "0"과 "1"에 따라 표 1에서 구한 δ 만큼의 이격으로 송신한다. 수신단 scope는 송신신호의 미분형태로서 AWGN 잡음과 함께 입사되어 상관기 기준신호와의 곱 후 적분기를 통과하여 신호성분의 상관값이 출력되는 과정을 보여주고 있다. 상관기 출력에서는 데이터 "0"의 경우 기준신호와의 곱에서 가장 큰 상관값을 갖기 때문에 양수의 값이 출력되고, 데이터 "1"의 경우 δ 의 이격으로 기준신호와의 곱에서 가장 낮은 상관값을 갖기 때문에 음수의 값을 출력하게 된다.

즉, 완벽한 시간동기의 가정하에서 상관기의 해석은 다음과 같다.

$$\beta_i = \sum_{j=0}^{(i+1)N_s} \int_{\tau+jT_s}^{\tau+(j+1)T_s} r(t)v(t-jT_s-c_sT_c-\tau)dt \quad (6)$$

최종적으로 판정된 데이터 α_i 는 다음과 같다.

$$\alpha_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta < 0 \end{cases}$$

3.2 간섭제거 기법

기준사용자 (S_1)이외의 다른 사용자(S_2, \dots, S_k)의 정보는 각 사용자에게 다르게 할당된 시간 주기로 역확산하여 검파된다. 다음으로 검파된 사용자의 정보는 다시 동일한 시간 주기에 의해 확산된다. 마지막으로 확산된 다른 사용자의 신호 (S_2, \dots, S_k)를 T 시간만큼 지연된 원래의 수신 신호(S_1)에서 빼줌으로써 MAI가 제거된 S_1 를 얻게된다[6].

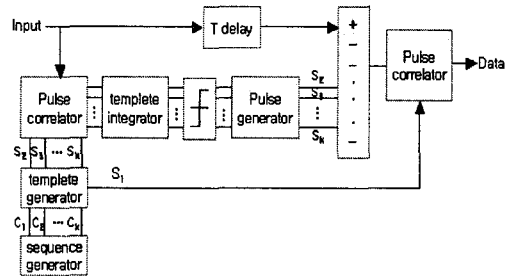


그림 4. 간섭제거기 구조

3.3 다중 접속 간섭 환경에서 UWB-IR 시스템 성능 분석 및 동일 채널 간섭 제거

N_u 명의 사용자가 다중 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(7)과 같다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} n_{tot}(t) &\equiv n(t) + \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) \\ &= N_s \sigma_a^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $\sigma_a^2 = N_0(1 - r(\delta))$

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 &= T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt \right]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [r(s) - r(s+\delta)]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} G(\delta) \end{aligned} \quad (9)$$

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

여기서, $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자가 각각 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터비트의 발생이 랜덤하다면, 식(8)에서 다른 사용자에 의한 간섭은 N_u 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤변수로 근사되며, $n_{tot}(t)$ 역시 가우시안 분포를 갖게 된다. 따라서, 다중 접속 간섭 환경에서

UWB-IR 시스템의 비트 오류 P_b 는 아래와 같이 구해진다[7],[8].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\left\{ (SNR)_1^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_s} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1}} \right) \quad (10)$$

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

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

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

표 1의 파라미터 중 case 2의 파라미터를 이용하여 다중 접속 UWB-IR 시스템 성능 분석을 위한 파라미터를 다시 정리하면 다음과 같다.

표 2. 다중 접속 TH PPM UWB-IR 시스템 성능 분석 파라미터

기호	값
t_m	0.0326 ns
T_s	0.072 ns
δ	0.0176 ns
$\gamma(\delta)$	-0.6183
A_1	1
N_s	가변(1, 2, 4, 10)
T_f	10 ns 5 ns
R_s	가변(100, 50, 25, 20, 10) Mbps
$F(\delta)$	0.586814×10^{-10}

그림 5는 표 2의 파라미터를 이용하여 UWB-IR 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

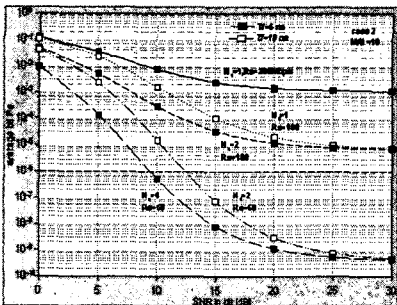


그림 5. UWB-IR 시스템에서 다중 접속 간섭에 따른 성능 변화

다중 접속 간섭 발생시 50Mbps의 전송을 이상에서 다중 접속 간섭으로 인하여 시스템 성능이 현저하게 열화 되는 것을 알 수 있다. 이는 고속전송을 수행 할수록 다중 사용자에 대한 간섭이 심각하다는 것을 말해준다. 따라서, 고속 전송 UWB-IR 시스템 설계 시, 다중 접속 간섭을 고려한 시스템 설계가 필요하다. 그림 6은

표 2의 파라미터를 이용하여 CCI canceller를 적용한 UWB-IR 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

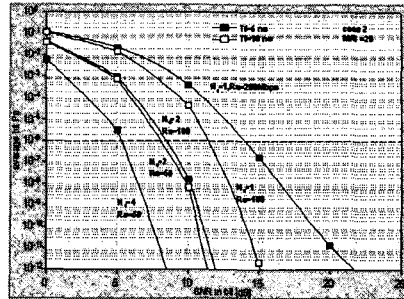


그림 6. UWB-IR 시스템에서 다중 접속 간섭에 따른 성능 변화(with CCI canceller)

CCI canceller를 적용한 경우, 50Mbps 전송율에서 기존 시스템 보다 수신 SNR을 4dB 정도 감소 시킬 수 있고, 100Mbps 이상의 고속 전송 시에도 시스템 성능 파라미터의 설정에 따라 약 8dB~14dB에서 기존 서비스를 만족하는 시스템 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 7은 동시 사용자 수와 전송율에 따른 UWB-IR 시스템의 성능을 나타낸 그림이다.

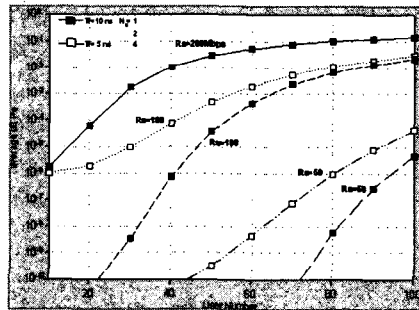


그림 7. 동시 사용자 수와 전송율에 따른 IR 시스템 성능(SNR=11.45dB, with CCI canceller)

$T_f=10, 5\text{ns}$ 에서 $N_s=1$ 인 경우, CCI Canceller에 의해 다중 접속 간섭을 제거함으로써 10명 이하의 동시 접속 내에서 기존 서비스를 만족시키는 것을 알 수 있다. 또한, 시스템 성능 파라미터 $N_s=2$ 로 설정하는 경우, 100Mbps 전송율에서는 최대 40명의 동시 접속 내에서 요구되는 서비스를 만족하고 50Mbps 전송율에서는 80명의 동시 접속 내에서 기존 서비스를 만족함을 알 수 있다. $N_s=4$ 인 경우에는 50Mbps 전송율에서 95명의 동시 접속 내에서 기준서비스를 만족함을 알 수 있다. 이와 같은 분석에서 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 UWB-IR 시스템에서는 CCI canceller를 이용함으로써 다중 접속 간섭을 효과적으로 제거하고 높은 채널 용량을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 TH PPM UWB-IR 시스템 설계를 위한 파라미터를 도출하고 다중접속 간섭 환경에서 UWB-IR 시스템의 오율 성능을 분석하였다. 또한, 다중 접속시 발생하는 간섭을 개선하기 위해 CCI canceller를 적용하여 동일 채널 상의 간섭을 제거 하였다. 결과에 의하면, 다중접속 간섭 발생시에 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 UWB-IR 시스템에서는 다중 접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 본 논문에서는 CCI Canceller를 적용함으로써 다중접속 간섭을 효과적으로 제거하고 높은 채널용량을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 향후 고속 전송 다중접속 UWB-IR 시스템 설계 시에는 CCI canceller와 같은 다중 접속을 효과적으로 제거할 수 있는 기법이 반드시 적용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[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] E. G. Geraniotis, "Performance of non-coherent direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. SAC-3, no. 5, Sept. 1985.

[7] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation," *Proc IEEE MILCOM '93*, pp. 447-450, Oct. 1993.

[8] 이양선, 강희조, "실내 다원접속 통신을 위한 TH Binary PPM IR 시스템의 성능 평가," *한국해양정보통신학회논문지*, vol. 6, no. 7, pp. 1032-1037, Nov. 2002.

이 양 선



2001년 동신대학교 전기전자공학과 (공학사)

2003년 동신대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2004년~현재 목원대학교 IT공학과 (박사과정)

2003년 3월~2004년 2월 (주)휴메이트/H/W개발부

관심분야 : 멀티미디어통신, UWB통신, 텔레매틱스, 무선통신시스템 등

강 희 조



1994년 한국항공대학교 대학원 항공 전자공학과 (공학박사)

1996년 8월~1997년 8월 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1990년 3월~2003년 2월 동신대학교 전자정보통신 공학부 교수

2003년 3월~현재 목원대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 조교수

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