

실내 다원접속 통신을 위한 TH Binary PPM IR 시스템의 성능 평가

이양선* · 강희조*

* 동신대학교 전기전자공학부

Performance Evaluation of Time Hopping Binary PPM Impulse Radio System for Indoor Multiple Access Communication

Yang-Sun Lee* · Heau-Jo Kang*

* Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

E-mail : satcom2000@korea.com

Abstract

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1-10.6GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 제안한 파라미터를 이용하여 다원접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 오율 성능을 분석하였다.

I. 서론

최근 들어 무선 통신 시스템의 급격한 증가로 인해 한정된 주파수 자원의 효과적인 분배가 큰 문제로 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) 기술이 관심을 모으고 있다[1],[2].

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

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1-10.6GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 제안한 파라미터를 이용하여 다원접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 오

율 성능을 분석하였다.

II. TH binary PPM IR 시스템

2.1 모노사이클 펄스 특성

IR 시스템의 펄스 $p(t)$ 는 주기 T_p 와 에너지 $E_p = \int_{-\infty}^{\infty} [p(t)]^2 dt$ 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, 수나노 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.

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

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

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

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

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

IR 신호의 특성은 중심 주파수에 대한 대역폭의 비율인 fractional 대역폭으로 나타낸다. 중심 주파수 및 fractional 대역폭은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$F_{center} = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (5)$$

$$B_{fractional} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (6)$$

여기서, f_H 와 f_L 는 신호 스펙트럼의 -10dB 지점의 상한 주파수와 하단 주파수이다.

표 1. 한정된 주파수 범위에서 사용 가능한 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
$T_s, T_s/2$	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 ns

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

III IR 시스템의 성능해석

3.1 binary PPM IR 시스템 시뮬레이터 설계

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

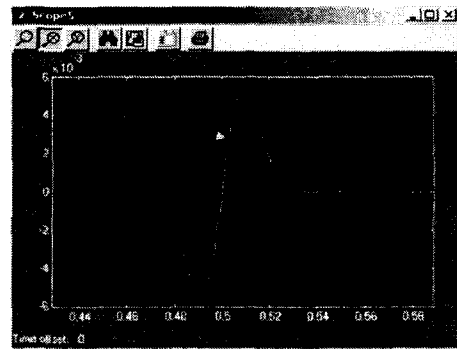


그림 1. 송신 모노사이클 펄스 신호

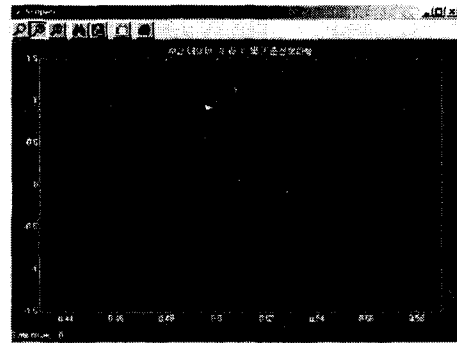


그림 2. 수신 신호와 상관기 기준파형

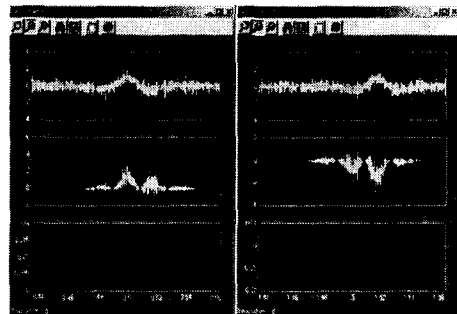


그림 3. 수신펄스에 따른 기준신호와의 출력 파형

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 기준신호와 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.

$$\beta_i = \sum_{j=iN_s}^{(i+1)N_s} \int_{\tau+jT_f}^{\tau+(j+1)T_f} \chi(t)v(t-jT_f-c; T_c-\tau)dt$$

최종적으로 판정된 데이터 $\hat{\alpha}_i$ 는 다음과 같다.

$$\hat{\alpha}_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta_i \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

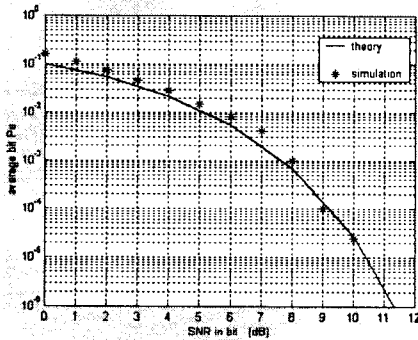


그림 4. AWGN환경에서 binary PPM IR 시스템 오율 성능 ($N_s=1$, no MAI)

그림 4는 binary PPM IR 시스템의 이론성능과 시뮬레이터를 이용하여 분석한 오율성능을 나타내고 있다. 시뮬레이터 분석 데이터가 이론성능과 거의 유사함을 알 수 있다.

3.2 다원 접속 간섭 환경에서 IR 시스템 성능 분석
 N_u 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(9)와 같다.

$$\chi(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} n_{tot}(t) &\equiv n(t) + \sum_{k=2}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) \\ &= N_s \sigma_n^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \end{aligned} \quad (10)$$

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

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 &= T_f^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{E_p} v(t) p_{RX}(t-s) dt \right]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [\chi(s) - \chi(s+\delta)]^2 ds \\ &= \frac{E_p}{T_f} G(\delta) \end{aligned} \quad (11)$$

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

여기서, $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자 각각이 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터비트의 발생이 랜덤하다면, 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 오율 P_b 는 아래와 같이 구해진다[6].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{ \left\{ (\operatorname{SNR})_1^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1} } \right) \quad (12)$$

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

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

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

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

표 2. 다원접속 TH binary PPM IR 시스템 성능 분석 파라미터

기호	값
t_s	0.0326 ns
T_f	0.072 ns
δ	0.0176 ns
$\gamma(\delta)$	-0.6183
A_1	1
N_u	가변(1, 2, 4, 10)
T_f	10 ns 5 ns
R_s	가변(100, 50, 25, 20, 10) Mbps
$P(\delta)$	0.586814×10^{-6}

그림 5와 그림 6은 표 2의 파라미터를 이용하여 IR 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

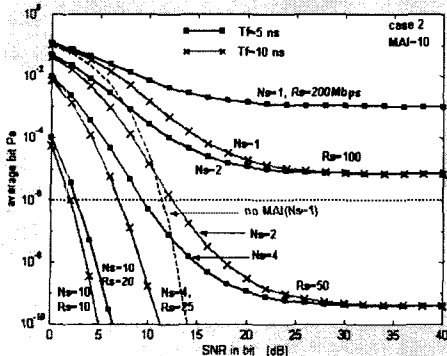


그림 5. IR 시스템에서 다원 접속 간섭에 따른 성능 변화

다원 접속 간섭이 없는 경우 11.45dB에서 데이터 서비스 기준 BER (10^{-6})을 만족하는데 비해 다원 접속 간섭 발생 시 시스템 성능이 크게 열화 되는 것을 알 수 있다. 특히, 50Mbps의 전송율 이상에서 다원 접속 간섭으로 인하여 시스템 성능이 현저하게 열화 되는 것을 알 수 있다. 이는 고속 전송을 수행할수록 다중 사용자에 대한 간섭이 심각하다는 것을 말해준다. 따라서, 고속 전송 IR 시스템 설계 시, 다원 접속 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 N_s 를 설계함으로써 요구되는 수신 SNR을 감소시킬 수 있다.

그림 6은 동시 사용자 수와 전송율에 따른 IR 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

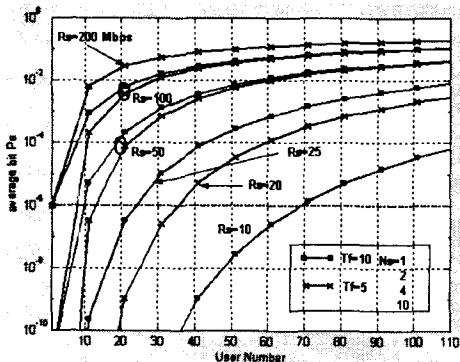


그림 6. 동시 사용자 수와 전송율에 따른 IR 시스템 성능(SNR=11.45dB)

$T_f=10, 5ns$ 에서 설계 가능한 최대 사용자 수는 111명, 55명으로 설계가 가능하나 $N_s=1$ 인 경우, 다원 접속 간섭 시에는 요구되는 서비스를 만족 할 수 없음을 알 수 있다. $N_s=2$ 로 설정하는 경우, 100Mbps 전송율에서는 최대 7명의 동시 접속 내에서 요구되는 서비스를 만족하고 50Mbps 전송율에서는 9명의 동시 접속 내에서 기준 서비스를 만족함을 알 수 있다. $N_s=4$ 인 경우는 50, 25Mbps 전송율에서 각각 13, 14명의 동시 접속 내에서 기준 서비스를 만족하고 $N_s=10$ 인 경우는 20, 10 Mbps 전송율에서 각각 36, 73명의 동시 접속 내에서 기준 서비스를 만족함을 알 수 있다. 이와 같은 분석에서 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서는 다원 접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있다. 이상과 같은 분석 결과를 아래의 표 3과 같이 정리하였다.

표 3. case 2를 이용한 IR 시스템 분석 결과

R_t (Mbps)	100	200	50	100	25	20	10	20
T_f (nsec)	10	5	10	5	10	5	10	5
N_s	1	1	2	2	4	4	10	10
10^{-6} BER을 만족하는 수신 SNR(no MAI)	11.45 dB		8.45 dB		5.45 dB		1.4 dB	
최대 사용자 수	111	55	111	55	111	55	111	55
동시 접속 가능 수 (SNR=11.45dB에서)	1	1	9	7	24	13	69	36

IV. 결론

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1-10.6GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 제한한 파라미터를 이용하여 다원 접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 오율 성능을 분석하였다. 결과에 의하면, FCC에서 제정한 허용 주파수 범위내에서 적용 가능한 펄스 주기 (t_n)는 0.04~0.0326 ns로 매우 한정되고 다원 접속 IR 시스템 설계 파라미터를 도출하여 성능을 분석한 결과, 동일한 펄스 신호의 세기에서 case 1, 2에 대한 시스템의 성능은 변화 없이 일정하기 때문에 실내 다원 접속 시스템 설계 시 동시 사용자 수에 따라 모노 펄스의 주기 및 T_f 의 설정이 필요하고 전송율에 따른 적절한 펄스 반복 개수를 설계해야 함을 알 수 있었다. 다원 접속 간섭 발생 시에는 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서 다원 접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있었고,

따라서, 고속 전송 다원접속 IR 시스템 설계 시에는 다원접속 간섭을 제거할 수 있는 추가적인 보상기법이 동시에 설계되어야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

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