# 간섭 환경에 따른 TH Binary PPM IR 시스템의 성능 평가

# Performance Evaluation of Time Hopping Binary PPM Impulse Radio System according to Interference Environment

이 양 선, 강 희 조

Yang-Sun Lee and Heau-Jo Kang

## 요 약

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1 ~ 10.6 GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 AWGN 환경에서 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 간섭 환경에 따른 시스템 성능을 알아보기 위해 다원접속 간섭과 공유 주파수 대역에 존재하는 협대역 시스템 신호를 간섭 신호로 고려하였다. 여기에서 협대역 시스템 간섭 신호는 IR 시스템 대역폭에 비해 매우 협소하고 IR 시스템보다 큰 진폭을 갖기 때문에 협대역 간섭 신호를 간섭 전력과 대역 점유율을 고려하여 IR 시스템에서 간섭 환경에 따른 시스템 성능을 분석하였다.

## ABSTRACT

In this paper, the effects of the interference environments on the performance of the time hopping(TH) binary PPM impulse radio(IR) system are presented. Based on the monocycle pulse available within the frequency of 3.1 ~ 10.6 GHz permitted for application by FCC, a PPM-modulated TH IR system simulator was designed and followed by the analysis of the monocycle pulse characteristics as well as the system performance. Particularly for the evaluation of the system performance, the multiple access interference and the narrowband system interference signals were considered as the interference signals. Since the narrowband system interference signal has very narrow bandwidth and very large amplitude compared with those of IR system, the analysis of the IR system performance was implemented by considering the interference power and band fraction ratio of the narrowband interference signal.

Key words : binary PPM impulse radio system, time hopping, interference environments

## I. 서 론

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. 그러나, 고속 멀티미디어 데이터에 대한 수요가 갈수록 증가하고 있는 추세에 비추어 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 이들 시스템에 거의

동신대학교 전기전자정보통신공학부(Dept. of Electrical & Electronic Info. & Commun. Eng., Dongshin Univ.)
·제 1 저자 : 이양선
·접수일자 : 2002년 11월 6일

간섭을 미치지 않는 새로운 방법을 이용하는 것을 들 수 있다. 이러한 접근 방법 가운데 하나로 잡음대역 아래로 무변조시켜 전송하는 초광대역 임펄스 통신시스템(Ultra Wideband Impulse Radio System) 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 ~ 10.6 GHz 대역[3] 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 AWGN 환경에서 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 간섭 환경에 따른 시스템 성능을 알아보기 위해 다원접속 간섭과 공유 주파수 대역에 존재하는 협대역 시스템 신호를 간섭 신호로 고려하였다. 여기서 협대역 시스템 간섭 신호는 IR 시스템 대역폭에 비해 매우 협소하고 IR 시스템보다 큰 진폭을 갖기 때문에 협대역 간섭 신호를 간섭 전력과 대역 점유율을 고려하여 IR 시스템에서 해석 가능한 협대역 간섭 모델을 유도한 후 binary PPM IR 시스템 성능을 평가한다.

## Ⅱ. TH binary PPM IR 시스템

### 2-1 모노사이클 펄스 특성

IR 시스템의 펄스 $p(t)$는 주기 $T_p$와 에너지 $E_p=\int_{-\infty}^{\infty}[p(t)]^2\,dt$를 갖는다. 송신기에서는 아래 식 (1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $p_{TX}(t)$ 를 전송한다[4].

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

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[5].

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

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

IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 시간천이 τ에 대한 정규화된 신호 상관함수 $\gamma_p(\tau)$는 다음과 같이 정의된다[5].

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

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

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

본 논문에서는 실내 통신 시스템의 경우로 FCC에서 제정한 3.1 ~ 10.6 GHz의 주파수 범위에서 사용 가능한 $t_n$을 유도하고 그에 따른 −10 dB 점유 대역폭과 중심 주파수 및 식 (3)을 이용하여 PPM 변조를 위한 최소천이 간격 δ를 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.

표 1. 한정된 주파수 범위에서 사용 가능한 IR 시스템 파라미터

Table 1. Available IR system parameter in limited frequency range.

| 기 호 | 설 명 | Case 1 | Case 2 |
|---|---|---|---|
| $t_n$ | 펄스폭을 결정하는 파라미터 | 0.04 ns | 0.0326ns |
| $F_{band}$ | −10 dB 점유대역 | 3.1~8.64 GHz (5.54 GHz) | 3.8~10.6 GHz (6.8 GHz) |
| $F_{center}$ | −10 dB 중심주파수 | 5.87 GHz | 7.2 GHz |
| $T_p$ $T_p/2$ | 펄스주기 | 0.09(0.045) ns | 0.072(0.036) ns |
| $\delta$ | 데이터 “0”과 “1”에 따른 펄스 간격 | 0.0216 ns | 0.0176 |

## Ⅲ. IR 시스템의 성능

### 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 특성을 분석하였다.

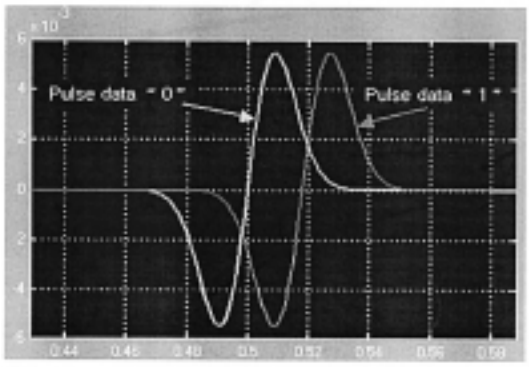


그림 1. 송신 모노사이클 펄스 신호
Fig. 1. Transmitted monocycle pulse signal.

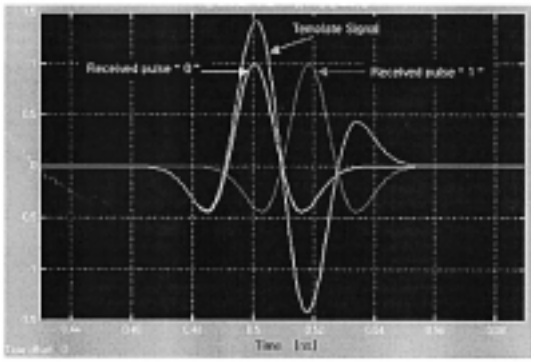


그림 2. 수신 펄스 “0”과 “1” 및 상관기 기준파형
Fig. 2. Received pulse data “0", “1" and template signal of correlator.

그림 1~그림 4는 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 δ만큼의 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 δ의 이격으로 기준신호와의 곱에서 가장 낮은 상관값을 갖기 때문에 음수의 값을 출력하게 된다.

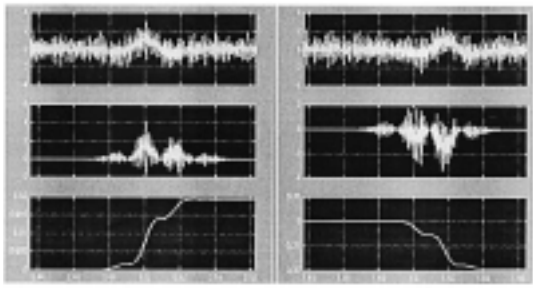

그림 3. 수신펄스에 따른 기준신호와의 출력 파형(높은 SNR)
Fig. 3. Output waveform with template signal according to received pulse(High SNR).

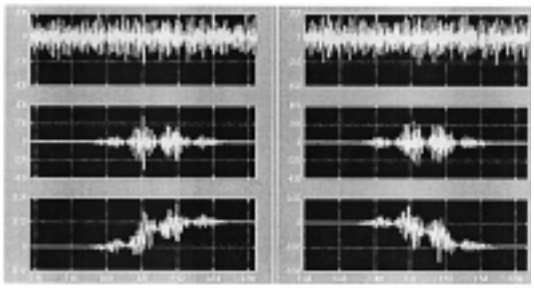

그림 4. 수신펄스에 따른 기준신호와의 출력 파형(낮은 SNR)
Fig. 4. Output waveform with template signal according to received pulse(Low SNR).

즉, 완벽한 시간동기의 가정하에서 상관기의 해석은 다음과 같다.

$$\beta_j = \sum_{j=jN_s}^{(j+1)N_s} \int_{+jT_f}^{+(j+1)T_f} r(t)\, v(t - jT_f - c_j T_c - \tau)\, dt \tag{5}$$

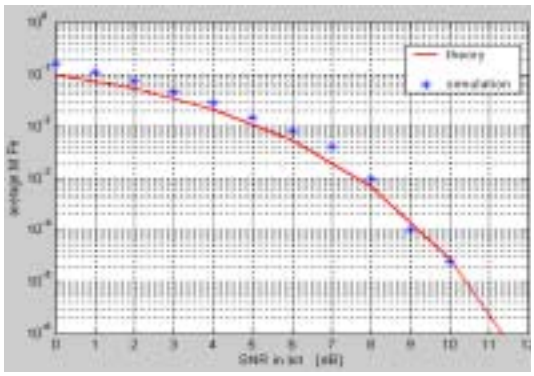

그림 5. AWGN 환경에서 binary PPM IR 시스템 오율 성능($N_s$=1, no MAI)

Fig. 5. Error performance of Binary PPM IR system in AWGN environment($N_s$=1, no MAI).

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

$$\hat{\alpha}_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta_i \geq 0 \\ 1 & \text{if } \beta_i < 0 \end{cases} \tag{6}$$

그림 5는 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 (7)과 같다.

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

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

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

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

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 (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, 다원 접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 비트 오율 $P_b$는 아래와 같이 구해진다[6].

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

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

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

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

Table 2. Performance analysis parameter of multiple access TH Binary PPM IR system.

| 기 호 | 값 | |
|---|---|---|
| $t_n$ | 0.0326 ns | |
| $T_p$ | 0.072 ns | |
| $\delta$ | 0.0176 ns | |
| $r(\delta)$ | −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) Mops | |
| $P(\delta)$ | $0.586814\times10^{-10}$ | |

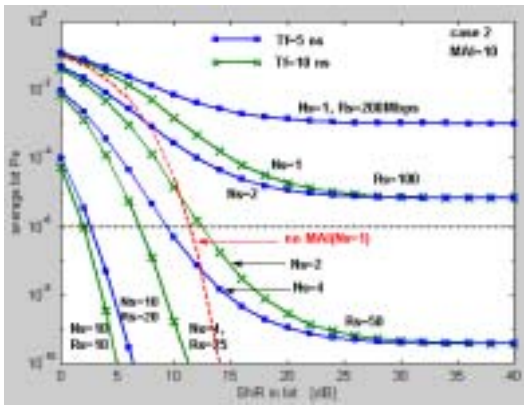

그림 6. 다원접속 간섭 환경에서 규격변화에 따른 IR 시스템 성능

Fig. 6. Performance of IR system by variable parameter in MAI environment.

다원 접속 간섭이 없는 경우 11.45 dB에서 데이터 서비스 기준 BER($10^{-6}$)을 만족하는데 비해 다원 접속 간섭 발생 시 시스템 성능이 크게 열화 되는 것을 알 수 있다. 특히, 50 Mbps의 전송율 이상에서 다원접속 간섭으로 인하여 시스템 성능이 현저하게 열화되는 것을 알 수 있다. 이는 고속 전송을 수행할수록 다중 사용자에 대한 간섭이 심각하다는 것을 말해준다. 따라서, 고속 전송 IR 시스템 설계 시, 다원접속 간섭을 고려한 시스템 설계가 필요하고 $T_f$를 이용한 전송율의 변화는 50 Mbps 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 SNR 및 전송율을 만족시킬 수 있다.

### 3-3 협대역 간섭 신호 모델링

표 1에서 유도한 파라미터 중 case 2의 경우를 이용할 경우 IR 시스템 점유 대역폭은 약 6.8 GHz가 되고 IR 점유 대역내에 존재하는 협대역 신호로는 그림 7과 같이 5 GHz 대역의 802.11a와 그외의 협대역 시스템을 고려할 수 있다[3].

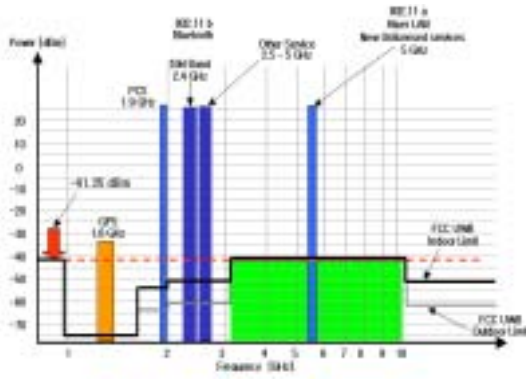

그림 7. FCC의 IR 점유 대역과 전파 규제 및 협대역 시스템의 주파수 분포

Fig. 7. Frequency band and emission limit for IR system and narrow band system of FCC.

802.11a의 대역폭은 20 MHz로서 IR 사용 대역폭 내에서의 점유도는 0.002941로 매우 협소하다. 또한, 신호 진폭은 IR 시스템보다 매우 큰 진폭을 갖기 때문에 본 논문에서는 협대역 간섭 신호를 간섭 전력과 대역 점유율을 고려하여 binary PPM IR 시스템에서 협대역 간섭의 영향을 분석한다.

IR 시스템 사용 대역폭을 $W_{ss}$라 하고, 간섭 신호의 대역폭을 $W_I$라 할 때, 간섭 신호의 점유율 ρ는 $\rho = W_I / W_{ss}$가 된다[7]. 따라서, 협대역 간섭은 확률 ρ로서 IR 시스템 신호 전송에 간섭을 주므로 협대역 간섭하에서 가우스 잡음을 고려한 시스템의 에러는 가우스 잡음이 존재할 때의 오율과 부분대역 간섭이 존재할 때의 오율을 각각 계산하여 더하면 된다.

가우스 잡음만이 존재할 때의 $N_t$는 $N_t = N_o$이고, 가우스 잡음에 협대역 간섭이 존재할 때 $N_t = N_o + N_I$가 된다. 따라서 협대역 간섭이 전체 대역에서 차지하는 부분 점유율이 ρ이므로 평균 비트 오율식은 다음과 같이 나타내진다.

$$P_e = (1-\rho) P_b + \rho P_b$$

$$= \frac{1-\rho}{2} erfc\left(\sqrt{(SNR)_1}\right) + \frac{\rho}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{1}{\frac{1}{(SNR)_1} + \frac{1}{SIR}\frac{1}{\rho}}}\right) \quad (11)$$

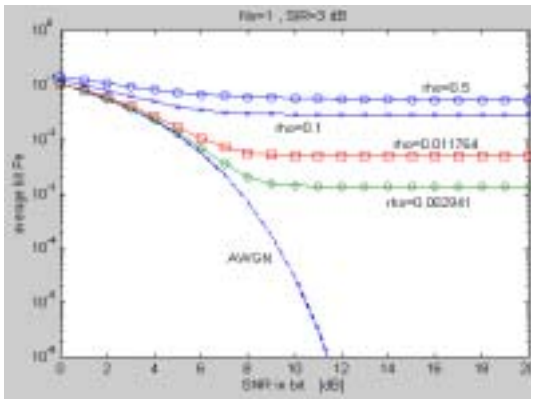


그림 8. IR 시스템에서 협대역 간섭 점유율에 따른 성능 변화($N_s$ = 1)

Fig. 8. Performance of IR system for narrowband interference fraction ratio($N_s$ =1).

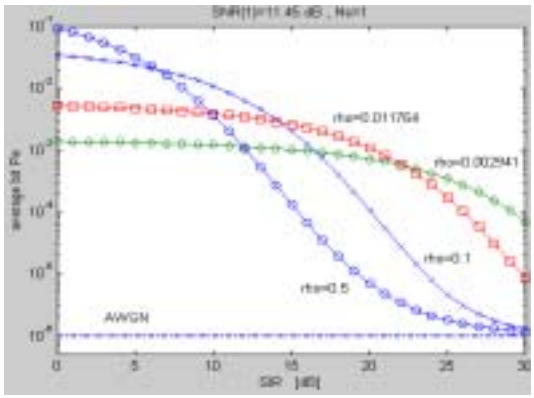


그림 9. 협대역 간섭 환경에서 SIR의 변화에 따른 성능 변화

Fig. 9. System performance for SIR in narrowband interference environment.

여기서, *SIR*은 신호전력 대 간섭 전력 비이다.

그림 8은 $N_s$=1, SIR=3 dB인 경우, 간섭 점유율에 따른 IR 시스템의 성능을 나타낸다. IR 전체 대역폭에서 협대역 간섭 자체가 시스템 성능을 크게 열화시킴을 알 수 있다. 그림 9는 $10^{-6}$ BER을 기준으로 $(SNR)_1$=11.45 dB이고, $N_s$=1인 경우 SIR의 변화에 따른 시스템 성능을 나타낸다. SIR 30 dB 이하에서 간섭 점유율이 클수록(0.1이상) 성능 향상폭이 커지지만 점유율이 적은(0.1이하) 협대역 간섭일

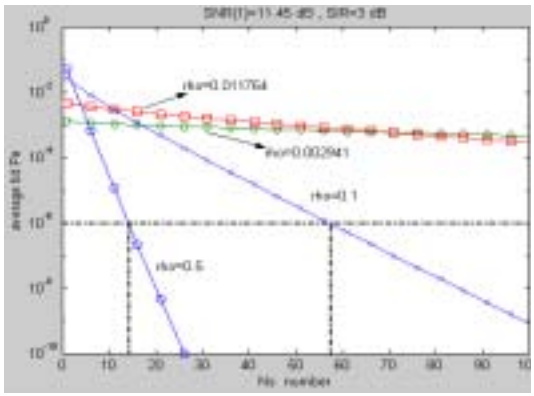

그림 10. $N_s$와 협대역 간섭 점유율에 따른 IR 시스템 성능

Fig. 10. Performance of IR system for $N_s$ and narrowband interference fraction ratio.

때는 SIR=20 dB 이상에서 성능개선이 이루어짐을 알 수 있다. 그러나, 전체적으로 수신전력을 증가하더라고 요구되는 기준 서비스를 만족하는 시스템 성능을 얻을 수 없음을 알 수 있다. 또한, 간섭 전력의 증가면에서는 간섭 점유율이 적을수록 시스템 성능에 거의 영향이 미치지 않았다.

따라서, IR 시스템에서는 간섭의 전력면보다는 간섭의 점유 대역폭에 따라서 성능 열화가 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 10은 $(SNR)_1$=11.45 dB이고, SIR=3 dB인 경우 $N_s$와 간섭 점유율에 따른 IR 시스템의 성능을 나타낸다.

그림 5에서 다원접속 간섭이 배제된 경우 AWGN 환경에서 $N_s$를 증가시킴으로써 매우 큰 폭의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있었다. 반면, 그림 10과 같이 협대역 간섭 환경에서는 $N_s$를 증가시킴으로써 간섭 점유율이 0.1 이상의 협대역 간섭에 대해서 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있었으나 간섭 점유율이 0.1 이하의 협대역 간섭일 때는 $N_s$를 증가시켜도 시스템 성능에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 간섭 점유율이 0.1 이하인 경우는 5 GHz 대역에서 ISM 대역의 80 MHz 대역폭이나 802.11a의 사용대역폭 20 MHz와 같은 IR 시스템에 비해 매우 협소한 대역을 사용하는 경우로써 향후 3.1 ~ 10.6 GHz 대역에서 공유되는 IR 시스템에서 간섭으로 영향을 미칠 경우를 상정하여 분석하였다. 그러나 $N_s$의 증가는

전송율의 저하를 초래하기 때문에 IR 대역의 10% 이상을 점유하는 간섭 환경에서는 적정한 $N_s$의 증가와 간섭으로 인한 에러를 보상하기 위한 코딩 기법이 적용되어야 하고, 간섭 점유율이 0.1 이하인 경우 $N_s$의 증가보다는 협대역 간섭에 대한 강력한 억압기법을 적용함으로써 타 시스템과의 주파수 공유와 더불어 최적의 전송효율을 갖는 시스템 설계가 가능할 것이다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1 ~ 10.6 GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노펄스를 이용하여 PPM 변조된 TH IR 시스템 시뮬레이터를 AWGN 환경에서 설계하고 시뮬레이터를 이용하여 모노사이클 펄스 특성 및 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 간섭 환경에 따른 시스템 성능을 알아보기 위해 다원접속 간섭과 공유 주파수 대역에 존재하는 협대역 시스템 신호를 간섭 신호로 고려하였다. 여기서 협대역 시스템 간섭 신호는 IR 시스템 대역폭에 비해 매우 협소하고 IR 시스템보다 매우 큰 진폭을 갖기 때문에 협대역 간섭 신호를 간섭 전력과 대역 점유율을 고려하여 IR 시스템에서 해석 가능한 협대역 간섭 모델을 유도한 후 binary PPM IR 시스템 성능을 분석하였다.

결과에 의하면, FCC에서 제정한 허용 주파수 범위내에서 적용 가능한 펄스폭 결정 파라미터($t_n$)는 0.04 ~ 0.0326 ns로 매우 한정되고 다원접속 IR 시스템 설계 파라미터를 도출하여 성능을 분석한 결과, 동시 사용자 수에 따라 모노 펄스의 주기 및 $T_f$의 설정이 필요하고 전송율에 따른 적정한 펄스 반복 개수를 설계해야 함을 알 수 있었다. 또한, 50 Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서는 다원접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있었다. IR 시스템과 동일 주파수를 사용하는 협대역 신호를 간섭 전력과 대역 점유율을 고려하여 분석한 경우에는 다원접속 간섭보다 시스템 성능에 미치는 영향이 훨씬 큼을 알 수 있었고, 간섭의 전력면보다는 간섭의 점유 대역폭에 따라서 성능 열화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, $N_s$를 증가시킴으로써 간섭 점유율이 큰(0.1이상) 협대역 간섭일수록 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있었으나 간섭 점유율이 적은(0.1이하) 협대역 간섭일 때는 $N_s$를 증가시켜도 시스템 성능에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었고 따라서, 정확한 간섭 점유율 추정에 따른 적정한 $N_s$의 설정과 간섭 억압기법을 적용함으로써 최적의 전송효율을 갖는 시스템 설계가 가능할 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. Feb. 2002.

[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.

[7] M. K. Simon, et al., *Spread spectrum communication Handbook*, McGraw-Hill, 1994. 4.

## 이 양 선(李陽善)

2001년 2월 : 동신대학교 전기전자 공학과 (공학사)
2001년 2월 ~ 현재 : 동신대학교 전기전자공학과 석사과정
관심분야 : UWB통신, 이동통신, 적응변조시스템, 무선통신시스템

## 강 희 조(姜希祚)

1994년 : 한국항공대학교 항공전자 공학과 (공학박사)
1996년 ~ 1997년 : 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
1994년 ~ 1998년 : 전자통신 연구원 무선이동위성통신 시스템 연구소 초빙연구원
2000년 ~ 현재 : 지역산업정보화 센터 센터장
2000년 ~ 현재 : 디지털영상매체기술혁신센터(TIC) 부소장
1990년 ~ 현재 : 동신대학교 정보통신공학부 교수
관심분야 : 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어 통신, UWB통신, EMI/EMC, 무선조명광통신, 밀리미터파, 전자발광(EL)