

다원접속 통신을 위한 초광대역 임펄스 무선 전송 시스템 연구

준회원 이 양 선*, 종신회원 강 희 조**, 정회원 문 용 규***, 양 승 인****

A Study of Ultra Wideband Impulse Radio Systems for Multiple Access Communication

Yang-Sun Lee* Associate Members, Heau-Jo Kang**, Yong-Gyoo Moon***, Seung-In Yang**** Regular Members

요 약

본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1~10.6 GHz 대역 내에서 IR 시스템 설계를 위한 특성 파라미터를 유도하고, 다원접속 간섭 환경에서 IR 시스템의 오율 성능을 분석하였다.

결과에 의하면, FCC에서 제정한 허용 주파수 범위 내에서 적용 가능한 펄스 주기(t_n)는 0.04~0.0326 ns로 매우 한정됨을 알 수 있었다. 또한, 시스템 성능 변화에 있어서 펄스 주기보다는 펄스반복개수(N_s)에 의해서 시스템 성능이 크게 변화되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 다원접속 시스템 설계 시 동시 사용자 수에 따라 모노 펄스의 주기 및 프레임 단위 시간(T_f)의 설정이 필요하고 전송율에 따른 적절한 펄스 반복 개수를 설계해야 함을 알 수 있었다. 다원접속 간섭 발생 시에는 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서 다원접속 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.

ABSTRACT

In this paper we proposed system parameter values of ultra-wideband Impulse Radio systems for the frequency band(3.1~10.6GHz), which is allocated by Federal Communications Commission(FCC). We also analyzed performance of the proposed system in the multiple access interference environment.

According to result, application of possible pulse duration(t_n) is very limited by 0.04~0.0326 ns in permission frequency range that establish in FCC. In the case of the same pulse signal power, we could know that system performance was changed by pulse repetition number(N_s) regardless of pulse duration. Thus, We could know that we have to need duration of monocycle pulse and setting of frame unit time(T_f) according to multi user numbers and design proper pulse repetition number by transfer rate in multiple access systems design. In the IR system that needs high speed transmission more than 50 Mbps in multiple access interference environment, we could know that very serious performance decrease by multiple access interference happens. Therefore, as the design of high speed multiple access IR system, it should be designed to additional improvement techniques that can remove multiple access interference at the same time.

* 동신대학교 정보통신공학부 무선고도정보통신시스템 연구실(satcom2000@korea.com) ** 목원대학교 IT공학부
 *** 전주공업대학 정보통신과 **** 숭실대학교 정보통신전자공학부
 논문번호 : 020395-0907, 접수일자 : 2002년 9월 7일

I. 서론

최근 한정된 주파수 자원의 효과적인 사용을 위해 기존의 이동통신, 위성통신, 방송 등과 같은 협대역 및 광대역 시스템과 상호 간섭 없이 주파수를 공유할 수 있는 초광대역 임펄스 무선전송(Ultra Wideband Impulse Radio : 이하 IR) 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 기술은 1990년대 중반이후 미국을 중심으로 집중되다가, 2000년대에 들어서면서 FCC, IEEE, ITU-R 등에서 이 기술의 상용화를 위한 표준화 작업을 가시화함에 따라 최근 들어 국내외적으로 관심이 고조되고 있다^{[1],[2]}.

IR 시스템은 기존 무선통신 시스템이 연속적인 RF 반송파를 이용하여 정보를 전송하는 것과는 달리 1 nsec 이하의 매우 짧은 펄스 파형을 이용하기 때문에 광대역 특성을 가지고 (fractional bandwidth 0.25이상 또는 1.5GHz 이상의 점유 대역특성을 갖는 것으로 FCC에서 정의^[3]), 기존의 시스템들이 점유하고 있는 주파수 대역을 공유하면서도, 타 시스템에 거의 간섭을 미치지 않는 특성을 가지므로, 보다 효율적인 주파수의 활용과 고속 멀티미디어 서비스가 가능한 차세대 무선통신기술로 평가받고 있다. IR 시스템은 이밖에도 저전력 전송방식으로 전력 소모가 적고, 시스템 구현이 간단하며, 시간 분해능(time resolution)이 높아 다중경로 간섭에 강한 특성을 보이는 등 고속 데이터 통신 시스템으로 연구되고 있는 무선 LAN, Bluetooth에 비해 기술 경쟁력이 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다^{[4],[5]}.

그러나, 2002년 FCC에서 IR 시스템 사용 주파수를 제정함으로써 IR 시스템 개발을 위해서는 허용 주파수 범위에서 적용 가능한 시스템 규격 설정 및 성능 분석이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 FCC에서 제정한 허용 주파수 3.1~10.6 GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노사이클 펄스 주기 및 특성 파라미터를 유도하고, 유도한 파라미터를 이용하여 IR 시스템의 오율 성능을 다원 접속 간섭 환경에서 평가함으로써 다원접속 통신을 위한 IR 시스템 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. TH binary PPM IR 시스템

2.1 모노사이클 펄스 특성

IR 시스템의 펄스 $p(t)$ 는 주기 T_b 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^[6].

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

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 상관 함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다^[7].

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

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.

FCC는 IR 시스템을 중심 주파수의 20% 이상의

fractional 대역폭 혹은 500MHz 이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의하고 있다. 또한 대역폭의 상하단 주파수도 -10dB 지점으로 보다 엄격하게 제한하고 있다. 최근 FCC가 Part-15 규정의 비허가 무선장치로 IR 기술을 상업용으로 사용하기 위하여 비록 제한적이거나 IR 장치의 주파수와 방사 전력을 제한하는 UWB 1st Report & Order를 채택하였다. 실내 통신 시스템의 경우 GPS 시스템과의 간섭 영향을 피하기 위해 3.1GHz 이상 10.6GHz 미만으로 주파수 사용을 제한하였다^[3].

본 논문에서는 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 도출하고 표 1과 같이 정리하였다. 그림 1은 문헌^[8]의 모노사이클 펄스를 주파수 스펙트럼으로 나타낸 그림이다.

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
$T_f(T_f/2)$	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

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

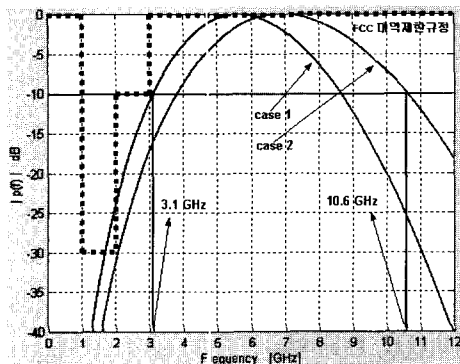


그림 1. 모노사이클 펄스의 주파수 영역 특성

그림 2는 표 1의 파라미터 중 $t_n=0.0326$ 인 경우의 수신신호 $p_{RX}(t-\frac{T_p}{2})$ 와 상관기의 기준신호에 사용되는 신호 상관 함수 $\gamma_p(\tau)$ 를 도시하고 있다.

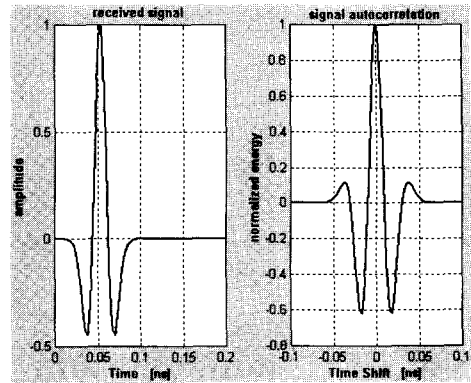


그림 2. 수신단 입력 파형 $p_{RX}(t-\frac{T_p}{2})$, 시간 천이 t 에 대한 정규화된 신호 상관 함수 $\gamma_p(\tau)$ 의 예시

2.2 PPM 변조와 시간도약 다원 접속

IR 시스템에서는 위 식(2)와 같은 펄스가 전송된다고 등가적으로 모델링하며, 이러한 펄스를 이용할 경우 k 번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현된다^[6].

$$s^{(k)}(t) = \sum_j p_{RX}(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta d_{[j/N_k]}^{(k)}) \quad (7)$$

여기서, T_f 는 펄스 반복 시간으로서 일반적으로 펄스 폭의 수백 혹은 수천 배의 값을 이용한다. 따라서 IR 시스템의 duty cycle은 매우 작은 값을 갖게 된다. 이는 하나의 T_f 내에 각각의 사용자가 시간도약 패턴에 따라 충돌을 최소화하면서 펄스를 전송하기 위해서이다.

IR 시스템에서는 사용자간의 충돌을 방지하고 비화성을 유지하기 위해, 시간도약 패턴을 이용한 다원접속 방법을 이용한다. 위 식(7)에서 $c_j^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 (10진수로 표현된) j 번째 도약 부호를 나타내며, T_c 는 우리가 제어 가능한 단위 시간이다. N_k 를 도약 부호가 가질 수 있는 최대값이라 할 때 $0 \leq c_j^{(k)} < N_k$ 를 만족하며, 다음 펄스와의 충돌을 피하기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다^[9].

$$N_k T_c \leq T_f \quad (8)$$

식(8)에서 $N_b T_c \ll T_f$ 이면, 도약을 위한 부호의 수가 적어 여러 사용자의 펄스간에 충돌이 발생할 가능성이 커지게 되므로, $N_b T_c \approx T_f$ 를 만족하도록 N_b 와 T_c 를 결정한다. 위에서 언급한 조건들을 만족하는 경우, k 번째 사용자의 펄스는 $jT_f + c_j^{(k)}T_c$ 에 존재하고, 다음 펄스는 $(j+1)T_f + c_{j+1}^{(k)}T_c$ 에 존재한다.

식(7)에서 $\delta d_{j/N_s}^{(k)}$ 는 디지털 데이터 "0"과 "1"에 대한 PPM 과정을 나타낸다. 여기서 δ 는 PPM 간격을 의미하고, $d_{j/N_s}^{(k)} \in \{0, 1\}$ 는 k 번째 사용자의 j/N_s 번째 데이터 비트를 나타내며, N_s 는 하나의 데이터비트에 대한 반복 전송횟수이다. 따라서, 데이터 비트가 "0"인 경우 $\delta d_{j/N_s}^{(k)}$ 가 0이 되고 "1"인 경우는 δ 만큼 시간 지연을 가진 동일 펄스 파형이 전송된다. 그림 3은 시간도약 IR 시스템의 데이터 구조를 보여주고 있다.

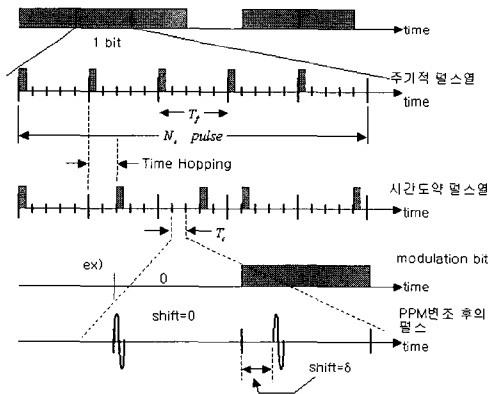


그림 3. TH-IR 시스템의 데이터 구조

IR 시스템에서는 하나의 데이터 비트를 N_s 개 반복해 보냄으로써, 실제 전송률 R_s 는 아래와 같다.

$$R_s = \frac{1}{N_s T_f} \quad (\text{bps}) \quad (9)$$

III. 다원접속 IR 시스템 설계 및 분석

3.1 다원접속 IR 시스템 규격 제안

본 논문에서는 근거리 다원접속 통신을 위한 IR 시스템을 모델링하고 규격 변화에 따른 시스템 성능을 평가하였다. 무선 데이터 서비스를 기준(10^{-6}

BER)으로 고속 전송 구현이 가능한 IR 시스템 규격을 표 2와 같이 제안한다. 표 2의 규격은 FCC에서 제정된 주파수 범위^[3]에서 표 1과 같이 유도한 규격을 근거로 사용 가능한 모노펄스의 주기(t_n) 0.04~0.0326ns 사이에서 case 1, 2의 경우에 한하여 도출하였다.

표 2에서 $T_f=10$ ns로 고정된 경우, 펄스 반복 개수 N_s 를 1, 2, 4, 10으로 증가시켜 전송율을 100, 50, 25, 10Mbps로 가변할 수 있고 case 1, 2에 대해서 T_f 내에 가질 수 있는 슬롯 타임($T_c \geq T_b + \delta$)은 최소 각각 0.1116ns와 0.0896 ns가 된다. 따라서, T_f 내에서 수용할 수 있는 사용자 수는 최대 각각 89명과 111명이 된다. 본 논문에서는 펄스 신호의 크기를 펄스 주기와 상관없이 일정하다고 가정한다. 따라서, 수신단 상관기에서의 자기 상관값은 동일한 값을 갖게 된다.

표 2. IR 시스템 파라미터 설계

기호	설명	case 1	case 2		
f_a	허용 주파수 대역(FCC)	3.1 ~ 10.6 GHz			
F_{band}	-10dB 점유 대역	3.1-8.64 GHz (5.54 GHz)	3.8-10.6 GHz (6.8 GHz)		
F_{center}	-10dB 중심 주파수	5.87 GHz	7.2 GHz		
N_u	최대 사용자 수(명)	89	111		
T_b	데이터 비트 주기($T_b=N_s \cdot T_f$)	10, 20, 40, 100 ns			
t_n	펄스폭을 결정하는 파라미터	0.04 ns	0.0326 ns		
T_p	펄스 주기	$0.09(T_p/2=0.045)$ ns	$0.072(T_p/2=0.036)$ ns		
δ	데이터 "0"과 "1"에 따른 펄스 간격(= δ)	0.0216 ns	0.0176 ns		
T_c	제어 가능한 시간	0.1116 ns	0.0896 ns		
$\gamma(\delta)$	$\gamma_f(z)$ 의 자기상관 값	-0.6183	-0.6183		
T_f	펄스 반복 시간(ns)	10 ns			
R_t	전송속도(1/Tb) Mbps	100	50	25	10
N_s	펄스 반복 개수	1	2	4	10

3.2 AWGN 환경에서 IR 시스템 성능분석

TH binary PPM IR 시스템의 복조는 기준 신호 $v(t)$ 를 사용하는 상관기를 이용한다. 기준 신호 $v(t)$ 는 식(10)과 같다.

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t - \delta) \quad (10)$$

binary PPM의 변조 파라미터 δ 의 최적 선택은 문헌^[10]과 수신 신호 $p_{RX}(t)$ 의 자기상관 특성에서 구해진다. 단일 수신된 신호는 식(11)과 같다.

$$r(t) = r_{RX}(t-\tau) + n(t) \quad (11)$$

$$= \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sqrt{E_s} p_{RX}(t-jT_f - c_j T_c - \delta \alpha_{(j/N_s)} - \tau) - n(t)$$

여기서, $n(t)$ 는 양측 전력 밀도 $N_0/2$ 를 갖는 AWGN 잡음, τ 는 전파지연이다.

따라서, 위와 같은 조건에서 IR 시스템이 비트 오류율 P_b 는 아래와 같이 구해진다^[11].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{N_s E_b}{2N_0}} \sqrt{1 - \gamma(\delta)} \right) \quad (12)$$

여기서, $N_s E_b = E_b$, 단일 정보 비트를 전송하는데 필요한 에너지이다.

그림 4는 다중 사용자 간섭을 배제한 AWGN 환경에서 표 2의 파라미터를 이용한 IR 시스템 성능을 나타낸다.

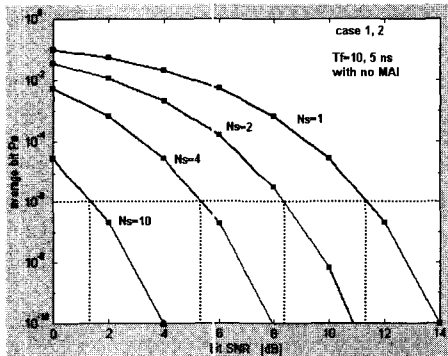


그림 4. AWGN 환경에서 IR 시스템 성능 변화

본 논문에서는 펄스 신호의 세기가 동일하다고 가정하였기 때문에 표 2의 case 1, 2의 자기 상관값이 동일한 값을 갖게 된다. 따라서, 동일 펄스 신호의 세기에서는 펄스 주기에 상관없이 N_s 에 의해서 시스템 성능이 변화되는 것을 알 수 있다. 또한, 다원 접속 간섭이 배제된 환경에서 T_f 의 변화는 시스템에 영향이 없음을 알 수 있다. 그림에서 $N_s = 1, 2, 4, 10$ 으로 증가할수록 SNR이 개선되며, 무선 데이터 서비스를 만족하는 기준 BER (10^{-6})에서 각각 11.45dB, 8.45dB, 5.45dB, 1.4dB에서 달성하여, $N_s=1$ 을 기준으로 $N_s=2$ 일 때 약 3dB, $N_s=4$ 일 때 약 6dB, $N_s=10$ 일 때 약 10dB의 이득을 보임을 알 수 있다. 이는 복수 사용자에 대한 다원접속 간섭이 배

제된 경우에 한하며, N_s 가 증가함에 따라 T_f 가 10ns인 경우 100, 50, 25, 10Mbps로 전송율이 감소하고, T_f 가 5ns인 경우 200, 100, 50, 20Mbps로 전송율이 감소한다. 따라서, 동일한 펄스 신호의 세기에서 case 1, 2에 대한 시스템의 성능은 변화 없이 일정하기 때문에 다원접속 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 있다.

3.3 다원 접속 간섭 환경에서 IR 시스템 성능 분석

N_u 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 첫 번째 사용자를 기준으로 수신신호를 다시 정리하면 식(13)과 같다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (13)$$

$$n_{tot}(t) \equiv n(t) + \sum_{k=1}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) \quad (14)$$

$$= N_s \sigma_n^2 + N_s \sigma_a^2 \sum_{k=1}^{N_u} A_k^2$$

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

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

$$= \frac{E_p}{T_f} \int_{-\infty}^{\infty} [\gamma(s) - \gamma(s+\delta)]^2 ds \quad (15)$$

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

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(14)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 오류율 P_b 는 아래와 같이 구해진다^{[10],[11]}.

$$P_b = \frac{1}{2} \sqrt{\left\{ (SNR)^{-1} + 2R_s P(\delta) \sum_{k=2}^{N_u} \left(\frac{A_k}{A_1} \right)^2 \right\}^{-1}} \quad (16)$$

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

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

시간도약 패턴 생성기는 주파수도약 대역 확산 시스템에서 사용되는 것^[12]과 동일하며, m-시퀀스 발생을 위한 생성 다항식이 n단 선형 케환 시프트 레지스터와 10진 변환기인 decimator로 구성된다. 여기서 n은 최대 다원 접속 사용자 수 N_u 에 의해 결정되며, 식(8)이 만족될 때 $N_u \leq N_h = 2^n - 1$ 가 되도록 결정된다^[9]. 표 2의 파라미터 중 case 2의 파라미터를 이용하여 다원 접속 IR 시스템 성능 분석을 위한 파라미터를 다시 정리하면 다음과 같다.

표 3. 다중접속 TH binary PPM IR 시스템 성능 분석 파라미터

기호	값
t_n	0.0326 ns
T_p	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
$P(\delta)$	0.586814×10^{-10}

그림 5와 그림 6은 표 3의 파라미터를 이용하여 IR 시스템 성능을 나타낸 그림이다.

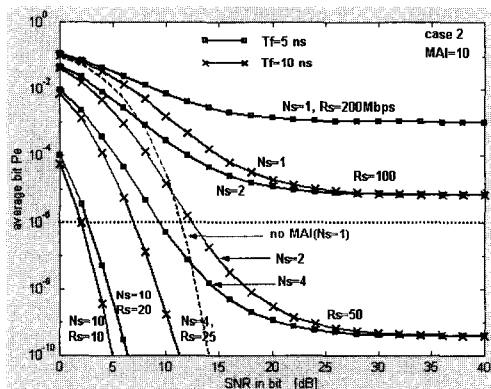


그림 5. IR 시스템에서 다원 접속 간섭에 따른 성능 변화

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 다원접속 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, 다원접속 간섭을 고려한 시스템 설계가 필요하고 T_f 를 이용한 전송율의 변화는 50Mbps 이상의 고속 전송에서 성능 향상에 도움을 주지만 최대 사용자 수를 감소시키기 때문에 이에 대한 상호 적정값의 선택이 필요함을 알 수 있다. 또한, 10명의 다원 접속 간섭하에서 N_s 를 증가시킴으로 최대 $N_s=4$, 10일 때, 10dB 이내의 우수한 수신성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나, N_s 의 증가는 전송율의 감소를 의미하고, T_f 의 감소는 최대 사용자 수를 감소시키기 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.

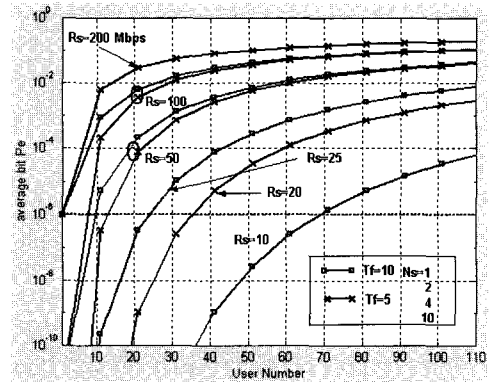


그림 6. 동시 사용자 수와 전송율에 따른 IR 시스템 성능 (SNR=11.45dB)

$T_f=10$, 5ns에서 설계 가능한 최대 사용자 수는 111명, 55명으로 설계가 가능하다. $N_s=1$ 인 경우, 다원 접속 간섭 시에는 요구되는 서비스를 만족할 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 전송

울에서 각각 13, 24명의 동시 접속 내에서 기준 서비스를 만족하고 $N_s=10$ 인 경우는 20, 10Mbps 전송율에서 각각 36, 69명의 동시 접속 내에서 기준 서비스를 만족함을 알 수 있다. 이와 같은 분석에서 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서는 다원접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있고, 따라서, 고속 전송 시에는 다원접속 간섭을 제거할 수 있는 추가적인 보상기법이 동시에 설계되어야 함을 알 수 있다. 이상과 같이 본 논문에서 분석한 결과를 아래의 표 4와 같이 정리하였다.

표 4. case 2를 이용한 IR 시스템 분석 결과

R_s (Mbps)	100	200	50	100	25	50	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 3.1~10.6 GHz 대역 내에서 사용 가능한 모노사이클 펄스 주기 및 특성 파라미터를 유도하고, 유도한 파라미터를 이용하여 다원접속 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 다원접속 IR 시스템 설계 파라미터를 case 1, 2로 도출하여 성능을 분석한 결과, 동일 펄스 신호의 세기에서는 펄스 주기에 상관없이 N_s 에 의해서 시스템 성능이 변화되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 동일한 펄스 신호의 세기에서 case 1, 2에 대한 시스템의 성능은 변화 없이 일정하기 때문에 다원접속 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. 다원접속 간섭 발생 시에는 50Mbps 이상의 고속 전송을 요하는 IR 시스템에서 다원접속 간섭 자체로 인해 매우 심각한 성능 열화가 발생하는 것을 알 수 있었고, 따라서, 고속 전송 다원접속 IR 시스템 설계 시

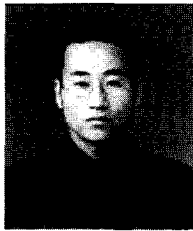
에는 다원접속 간섭을 제거할 수 있는 추가적인 보상기법이 동시에 설계되어야 함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) A. Petroff and P. Withington, "Time Modulated Ultra-Wideband(TM-UWB) Overview", Tech. Report, Time Domain Corp., www.time-domain.com
- (2) R. J. Fontana, "Recent Application of Ultra Wideband Radar and Communication Systems", Tech. Paper, Multispectral Solutions Inc., www.multispectral.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) J. Mardoff, "FCC mulls Wider Commercial Use of Radical Radio Technology", The New York Times (Tech. Section), Dec. 21. 1998.
- (5) Time Domain Corp., "Time-Modulated Ultra Wideband Radio Measurement & Spectrum Management Issues," Presentation Material at National Radio Science Meeting, Boulder, USA, Jan. 1999.
- (6) F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Time-shift-keyed equicorrelated signal sets for impulse radio modulation", Wireless conference, July. 1998.
- (7) 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.
- (8) J. T. Conroy, J. L. LoCierro, D. R. Ucci, "Communication techniques using monopulse waveforms", MILCOM, vol.2, pp. 1181-1185, 1

999.
 [9] 안진철, 신요안, "초광대역 시간 도약 이진 임펄스 무선 전송 시스템의 성능 평가," 한국통신학회논문지, 제25권, 제11 A호, pp. 1672-1681.
 [10] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation," Proc. IEEE MILCOM'93, pp. 447-450, Oct. 1993.
 [11] F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "System performance analysis of impulse radio modulation", Proceedings of RAW- CON'98, 1998.
 [12] M. K. Simon et. al., Spread Spectrum Communications Handbook, McGraw-Hill, 1994.

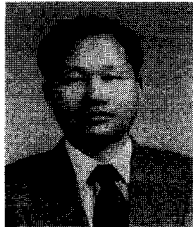
이 양 선(Yang-Sun Lee) 준회원



2001년 2월 : 동신대학교 전기전자공학과졸업(공학사)
 2003년 2월 : 동신대학교 전기 전자공학과(공학석사)
 2003년 3월~현재 : 동신대학교전기전자공학과박사과정

<주관심분야> UWB통신, 이동통신, 적응변조 시스템, 무선통신시스템

강 희 조(Hear-Jo Kang) 종신회원



1994년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)
 1996년 ~ 1997년 : 일본 오사카 대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1994년 ~ 1998년 : 전자통신 연구원 무선 이동위성통신 시스템 연구소 초빙연구원

2000년 ~ 2002년 : 지역산업정보화센터 센터장
 2000년 ~ 2002년 : 디지털영상매체기술혁신센터 (TIC)부소장

1990년 ~ 2002년 : 동신대학교 정보통신공학부 교수
 2003년 ~ 현재 : 목원대학교 IT공학부 교수

<주관심분야> 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신, UWB통신, EMI/EMC, 무선 조명광통신, 밀리미터파, 전자발광(EL)

문 용 규(Yong-Gyoo Moon) 정회원



1987년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 8월 : 송실대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 8월 ~ 현재 : 송실대학교 전자공학과 박사과정
 1991년 7월 ~ 1997년 8

월 : 아시아나항공 시스템부문
 1997년 9월 ~ 현재 : 전주공업대학 정보통신과 조교수

<주관심분야> 마이크로파, 전파 전파, UWB 통신

양 승 인(Seung-In Yang) 정회원



1974년 : 서울대학교 (공학사)
 1976년 : 한국과학기술원 (공학석사)
 1987년 : 한국과학기술원 (공학박사)
 1990년~1999년 : 한국통신기술협회 RSG 연구위원회의장

1991년~1992년 : University of Colorado 객원교수
 1996년~1999년 : 한국전자파학회 학술이사
 2000년 ~ 현재 : 한국전자파학회 부회장
 1978년 ~ 현재 : 송실대학교 정보통신전자공학부 교수

<주관심분야> 위성방송수신용 평면안테나 개발, 위상잡음 최소화 연구, MMIC 설계