

부분대역 간섭 환경에서 초광대역 임펄스 무선 전송 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio System in Partial Band Interference Environment

이 양 선 · 강 희 조 · 이 권 현*

Yang-Sun Lee · Heau-Jo Kang · Kwon-Hyun Lee*

요 약

본 논문에서는 동일 주파수 대역을 사용하는 기존 시스템에 의한 간섭 환경에서 TH/UWB(Time Hopping/Ultra Wideband : 이하 Impulse Radio) 시스템의 성능을 분석하였다. 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. 결과에 의하면, 간섭 전력의 크기보다는 간섭의 점유 대역폭에 따라서 성능 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 부분대역 간섭 환경에서는 펄스반복개수(Ns)를 증가시킴으로써 간섭 점유율이 큰(0.1이상) 협대역 간섭일수록 큰 폭의 성능 개선을 얻을 수 있었다. 그러나, 간섭 점유율이 적은(0.1이하) 협대역 간섭일 때는 시스템 성능에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서, 정확한 간섭 점유율 추정을 통해 간섭의 대역폭 점유율에 따라 최적의 펄스반복개수를 설정하고 적절한 간섭억압기법을 적용함으로써 최상의 시스템 성능 및 전송효율을 얻을 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, Analyzed Performance of TH/UWB(Time Hopping/Ultra Wideband : after Impulse Radio) system in interference environment by existing system that use same frequency band. In case interference fraction ratio is below 0.1, consider and analyzed in case influence through interference in IR system that is shared in 3.1~10.6 GHz band hereafter as case that use very small and narrow band than IR system such as 80 MHz bandwidth of ISM band or 802.11a's use bandwidth 20 MHz in 5 GHz band. According to result, we could know that Performance change according to possession band width of interference shows greatly than size of interference electric power. also, interference fraction ratio is big (more than 0.1) narrowband interference in partial band interference environment, could get Performance improvement of big width increasing pulse repetition number. but, could know that do not influence hardly in system performance when interference fraction ratio is small (below 0.1) narrowband interference. therefore, may receive the best system performance and transfer efficiency by set the most suitable pulse repetition number according to bandwidth fraction ratio of interference through correct interference fraction ratio estimation and apply proper interference suppression techniques.

Key words : UWB, Partial Band Interference, Time Hopping, Pulse Position Modulation

동신대학교 전기전자정보통신공학부(Dept. of Electronic & Electrical Info. & Commn. Eng., Dongshin Univ.)

* 도립담양대학 초고속정보통신공학부(Dept. of Ultra High-Speed Info. & Commn. Eng., Provincial College of Damyang)

· 논문 번호 : 20020507-056

· 수정완료일자 : 2002년 8월 29일

I. 서론

최근 전자기술의 발달로 나노 초 이하의 극히 짧은 펄스를 이용한 레이더와 통신기기의 개발이 가능하게 되었다. 이렇게 극히 짧은 펄스를 이용하는 기기를 “초광대역 기기”라 하는데, 일반적으로 그 사용 대역폭이 중심주파수의 25 % (점유대역폭 / 중심주파수=0.25) 이상으로 광대역이다(점유대역폭은 통상 -10 dB 대역폭을 적용한다). 이 기기들은 1980년대에 지하 매설물 탐지를 위해 군에서 개발되어 일부 사용되어 왔는데 데이터 프로세싱 기술을 적용하여 가까운 거리의 물체를 탐지하고 다중 전파경로환경에서 통신을 하는 정부 및 상업 분야의 많은 응용 분야에 적용될 수 있다^{[1]-[3]}.

IR 시스템에서는 1 nsec 이하의 매우 짧은 펄스 폭을 갖는 가우시안 모노사이클 펄스를 펄스 위치 변조(pulse position modulation : PPM)를 이용하여 상향 변조 없이 그대로 기저대역 신호로 전송하고, 수신단에서는 상관기를 통해 복조한다^{[4],[5]}. 다원접속 측면에서는 시간도약 PN 시퀀스를 사용한다. 이러한 특징들로 IR 시스템의 주파수 특성은 PPM 및 시간도약에 의해 평탄화되고, 스펙트럼은 백색 잡음과 유사한 수 GHz 대의 주파수 대역에 걸친 매우 낮은 전력의 초광대역 스펙트럼을 갖게 된다. 이러한 IR 시스템은 2002년 2월 FCC에서 3.1~10.6 GHz 대역에서 부분적인 UWB 기술을 승인함으로써 기존에 사용되던 시스템이나 앞으로 공존하게 될 시스템과의 간섭 분석이 절실하게 요구되고 있다^[4].

따라서, 본 논문에서는 시간 영역에서 다원접속 간섭이 배제되는 경우를 가정하여 IR 시스템과 동일 주파수 대역을 사용하는 기존 시스템에 의한 간섭 환경에서 IR 시스템의 성능을 분석하였다.

II. IR 시스템의 원리

2.1 가우시안 모노사이클 펄스

IR 시스템의 송신기에서는 아래 식 (1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스 $v(t)$ 를 전송한다.

$$v(t) = 2A\sqrt{\pi}e^{-\frac{t}{\tau}} e^{-2\pi(t/\tau)^2} \quad (1)$$

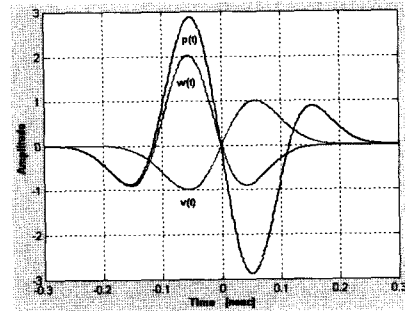


그림 1. 가우시안 모노사이클 송신 펄스 $v(t)$, 이 펄스가 수신단 안테나를 통과한 후의 펄스 $w(t)$, 상관 복조기의 참조 신호에 사용되는 펄스 $p(t)$ 의 예시($\tau=0.2$ nsec)

Fig. 1. Illustration of gaussian monocycle transmission of a message pulse $v(t)$, pulse $w(t)$ after transmission pulse passes receiver antenna, Pulse $p(t)$ that is used in reference sign of correlation demodulator.

여기서, A 는 펄스의 크기이고 τ 는 펄스의 폭을 결정하는 파라미터이다. 일반적으로 τ 는 1 nsec 이하의 매우 작은 값을 사용한다. 식 (1)과 같은 가우시안 모노사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 안테나의 특성에 의해 수신단의 상관기에는 이의 미분된 형태의 펄스가 입력된다^{[5],[6]}. 따라서, 수신기 내 상관기의 입력 파형 $w(t)$ 는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$w(t) = 2A\sqrt{\pi}e\left(\frac{1}{\tau} - \frac{4\pi t^2}{\tau^3}\right) e^{-2\pi(t/\tau)^2} \quad (2)$$

IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 수신 신호와 곱하게 되는 기준(reference) 신호 $p_{bit}(t)$ 는 다음과 같이 정의된다^{[5],[6]}.

$$p_{bit}(t) \equiv w(t) - w(t - \delta) \quad (3)$$

$$= \sum_{j=N_i}^{(i+1)N_i-1} v(t - jT_f - c_j^{(1)} - \tau_i)$$

$$p(t) \equiv w(t) - w(t - \delta) \quad (4)$$

그림 1은 $A=1$, $\tau=0.2$ nsec일 때, $v(t)$, $w(t)$, 그리고 다음에 설명될 상관기의 참조 신호에 사용되는 펄스 $p(t)$ 를 도시하고 있다.

2-2 디지털 PPM 변조와 시간도약 다원 접속

IR 시스템에서는 위 식 (1)과 같은 펄스가 전송된다고 등가적으로 모델링하며, 이러한 펄스를 이용할 경우 k 번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현된다^{[4]-[6]}.

$$s^{(k)}(t) = \sum_j w(t - jT_f - c_j^{(k)}T_c - \delta d_{[j/N_s]}^{(k)}) \quad (5)$$

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 사용자 간의 충돌을 방지하고 비화성을 유지하기 위해, 시간도약 패턴을 이용한 다원접속 방법을 이용한다. 위 식 (5)에서 $c_j^{(k)}$ 는 k 번째 사용자의 (10진수로 표현된) j 번째 도약 부호를 나타내며, T_c 는 우리가 제어 가능한 단위 시간이다. N_h 를 도약 부호가 가질 수 있는 최대값이라 할 때 $0 \leq c_j^{(k)} < N_h$ 를 만족하며, 다음 펄스와의 충돌을 피하기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$N_h T_c \leq T_f \quad (6)$$

식 (6)에서 $N_h T_c \ll T_f$ 이면, 도약을 위한 부호의 수가 적어 여러 사용자의 펄스간에 충돌이 발생할 가능성이 커지게 되므로, $N_h T_c \approx T_f$ 를 만족하도록 N_h 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 (5)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. IR 시스템에서는 하나의 데이터 비트

를 N_s 개 반복해 보냄으로써, 실제 전송률 R_s 는 아래와 같다.

$$R_s = \frac{1}{N_s T_f} \quad (\text{bps}) \quad (7)$$

III. IR 시스템의 성능

3-1 가우시안 채널 환경에서 다원접속 IR 시스템의 성능

N_u 명의 사용자가 다원 접속한 상황에서, 수신 신호를 첫 번째 사용자를 기준으로 다시 정리하면 식 (8)과 같다.

$$r(t) = A_1 s^{(1)}(t - \tau_1) + n_{tot}(t) \quad (8)$$

$$n_{tot}(t) \equiv \sum_{k=1}^{N_u} A_k s^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (9)$$

여기서, $n_{tot}(t)$ 는 다른 사용자의 간섭과 잡음의 합이다. N_u 명의 사용자 각각이 랜덤한 시간도약 패턴을 이용하고 데이터비트의 발생이 랜덤하다면, 식 (9)에서 다른 사용자에 의한 간섭은 N_u 가 큰 경우 가우시안 분포를 갖는 랜덤변수로 근사되며, $n_{tot}(t)$ 역시 가우시안 분포를 갖게 된다. 따라서, 위와 같은 조건에서 IR 시스템의 비트 오류 P_b 는 아래와 같이 구해진다^[4].

$$P_b = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{S_{out}(N_u)}}^{\infty} e^{-x^2/2} dx = Q(\sqrt{S_{out}(N_u)}) \quad (10)$$

$$S_{out}(N_u) = \frac{m^2}{\sigma_{tot}^2(N_u)} \quad (11)$$

$$m = \int_{t \in T_i} A_1 w_{bit}(t) v_{bit}(t) dt = A_1 N_s m_p \quad (12)$$

$$m_p = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)[w(t) - w(t - \delta)] dt \quad (13)$$

$$\sigma_{tot}^2(N_u) = E \left\{ \left[\int_{t \in T_i} n_{tot}(t) v_{bit}(t) dt \right]^2 \right\} \quad (14)$$

여기서, $E\{\cdot\}$ 은 기대값 연산이다.

3-2 단일 사용자 환경에서 IR 시스템의 성능 분석

본 절에서는 의사 잡음 부호 발생기를 이용한 시간도약 패턴의 생성과 이를 이용하여 비트오율 결과를 유도한다. 시간도약 패턴 생성기는 주파수 도약 대역 확산 시스템에서 사용되는 것^[7]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 (6)이 만족될 때 $N_u \leq N_k = 2^n - 1$ 가 되도록 결정된다. 여러 사용자는 서로 다른 레지스터의 초기값을 사용하여 서로 다른 도약 패턴을 갖게 되며 이 경우 동기가 완전하게 맞았다는 가정하에서 서로의 신호가 시간 영역에서 전혀 겹치지 않아 다원 접속 간섭이 없게 된다^[8].

따라서, 이 경우 다원 접속 상황에서도 기준되는 사용자에게 대하여 다른 사용자의 간섭이 전혀 없으므로 한 명의 사용자만이 접속한 것과 같고, 식 (10), (11)은 다음과 같이 다시 표현된다.

$$P_b = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{S_{out}(1)}}^{\infty} e^{-x^2/2} dx = Q(\sqrt{S_{out}(1)}) \quad (15)$$

$$S_{out}(1) = \frac{(A_1 N_s m_p)^2}{\sigma_{rec}^2(1)} \quad (16)$$

여기서, 편의상 $A_1=1$ 이라 할 때,

$$S_{out}(1) = \frac{m^2}{\sigma_{rec}^2} = \frac{N_s \left[\int_{-\infty}^{\infty} w(t) v(t) dt \right]^2}{\frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} v^2(t) dt} \quad (17)$$

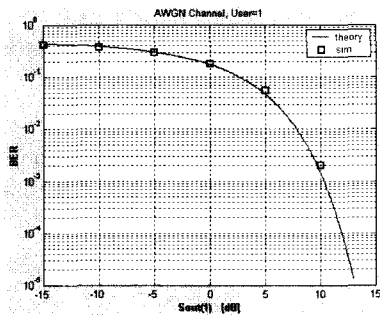


그림 2. 단일 사용자에서 $S_{out}(1)$ 의 변화에 따른 비트 오율의 성능 변화($N_s=1$)

Fig. 2. Performance change of the bit error rates by change of $S_{out}(1)$ in single user($N_s=1$).

그림 2는 $N_s=1$ 인 경우, 신호대잡음비 $S_{out}(1)$ 의 변화에 따른 비트오율의 변화를 도시하며, 여기서 식 (16)의 이론적인 결과와 실제 모의 실험을 통해 얻은 결과를 비교하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 두 결과가 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

3-3 부분대역 간섭 환경에서 단일 사용자 IR 시스템의 성능 분석

본 절에서는 완벽한 시간동기를 이룬다는 가정하에서 다원접속이 배제된 단일 사용자 환경에서 동일 주파수 대역을 사용하는 기존의 시스템에 의한 협대역 간섭 발생 시 IR 시스템의 성능을 분석한다. 그림 3은 전체 주파수 대역에서 부분 대역 간섭 (partial-band interference)이 존재하는 주파수 대역을 나타낸다. 이때 전체 주파수 대역 W_{ss} 와 간섭 신호가 존재하는 주파수 대역 W_I 의 비 ρ 는 $\rho = W_I / W_{ss}$ 이다. 그림 3에서 $N_I/2$ 는 평균 간섭 전력 밀도이고 $N_I/2\rho$ 는 부분 대역 간섭의 순간 최대 전력 밀도이다.

단, ρ : 대역 점유율 ($0 < \rho \leq 1$).

부분 대역 간섭은 확률 ρ 로서 IR 시스템 신호 전송에 간섭을 주므로 부분대역 간섭하에서 가우스 잡음을 고려한 시스템의 예러는 가우스 잡음이 존재할 때의 오율과 부분대역 간섭이 존재할 때의 오율을 각각 계산하여 더하면 된다.

가우스 잡음만이 존재할 때의 N_I 는 $N_I = N_0$ 이고, 가우스 잡음에 부분대역 간섭이 존재할 때 $N_I = N_0 + N_I$ 가 된다. 따라서 부분대역 간섭이 전체 대역에서 차지하는 부분 점유율이 ρ 이므로 평균 비트 오율식은 다음과 같이 나타내진다.

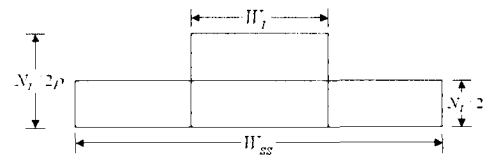


그림 3. 부분대역 가우시안 간섭 신호의 주파수 분포

Fig. 3. Frequency distribution of partial band Gaussian interference signal.

$$P_e = (1 - \rho) P_b + \rho P_s \tag{18}$$

$$= \frac{1 - \rho}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{S_{out}(1)}{2}} \right) + \frac{\rho}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{2 \left(\frac{1}{S_{out}(1)} + \frac{1}{S_{I-out}(1)} \frac{1}{\rho} \right)}} \right)$$

여기서, $S_{I-out}(1)$ 은 신호전력 대 간섭전력비이다.

본 논문에서 IR 시스템 분석에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시스템 분석 파라미터

Table 1. System analysis parameter.

| | | |
|--------------|---------------|----------------------------------|
| ρ | 0.004(20 MHz) | 802.11a점유대역폭 |
| | 0.016(80 MHz) | 5 GHz ISM 대역폭 |
| | 0.1 | 10 %(대역폭 점유율) |
| | 0.5 | 50 % |
| W | 5 GHz | IR 시스템 대역폭 |
| δ | 0.11 nsec | PPM에서 비트 "0"과 "1"을 나타내는 펄스의 시간간격 |
| N_s | 1 | 펄스 반복 개수 |
| τ | 0.2 nsec | 펄스의 폭 |
| $S_{out}(1)$ | 11 dB | 10^{-3} 이하 기준 |
| R_s | 14.3 Mbps | 전송속도 |
| N_h | 127(user=127) | 도약 부호 수 $2^n - 1(n=7)$ |
| T_c | 0.55 nsec | 상관기를 위한 적분구간 |
| T_f | 69.85 nsec | 최소펄스반복시간 |

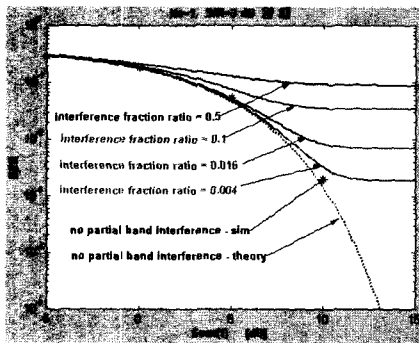


그림 4. 부분대역 간섭 환경하에서 UWB/TH 시스템의 성능

Fig. 4. Performance of UWB/TH system under partial band interference environment.

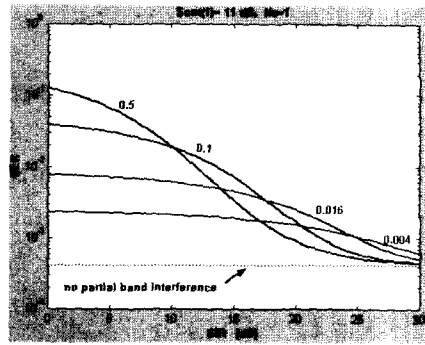


그림 5. 부분대역 간섭 환경하에서 SIR의 변화에 따른 UWB/TH 시스템의 성능

Fig. 5. Performance of UWB/TH system by SIR's change under partial band interference environment.

그림 4와 그림 5에서는 부분대역 간섭 환경에서 UWB/TH 시스템의 성능을 부분대역 간섭의 점유율과 SIR의 변화에 따라 분석하였다.

그림 4는 $N_s=1$, SIR=3 dB인 경우, 간섭 점유율에 따른 IR 시스템의 성능을 보여주고 있다. IR 시스템 전체 대역폭에서 간섭 점유율이 클수록(0.1이상) 시스템 성능이 크게 열화되고 전반적으로 부분대역 간섭 자체가 시스템 성능을 크게 열화시킴을 알 수 있다.

그림 5는 10^{-3} 이하를 기준으로 $S_{out}(1)=11$ dB이고, $N_s=1$ 인 경우 SIR의 변화에 따른 시스템 성능을 보여주고 있다. 간섭 점유율이 클수록(0.1이상) SIR 30 dB 이하에서 성능 향상폭이 커지지만 점유율이 적은(0.1이하) 협대역 간섭일수록 SIR 30 dB 이하에서 1×10^{-1} 이하의 성능개선이 이루어지고 30 dB 이상에서는 일정 성능을 유지함을 알 수 있다. 또한, 간섭 전력의 증가면에서는 간섭 점유율이 적을수록 거의 영향이 미치지 않았다. 따라서, IR 시스템에서는 간섭의 전력면보다는 간섭의 점유 대역폭에 따라서 성능 변화가 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 6은 $S_{out}(1)=11$ dB이고, $ISR=3$ dB인 경우, N_s 와 간섭 점유율에 따른 IR 시스템의 성능을 보여주고 있다.

다원접속 간섭이 배제된 경우 AWGN 환경에서 N_s 를 증가시킴으로써 매우 큰 폭의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 반면, 부분대역 간섭 환경에서

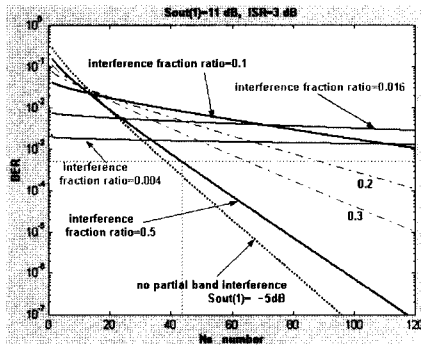


그림 6. N_u 와 간섭 점유율에 따른 IR 시스템의 성능
 Fig. 6. Performance of IR system by N_u and interference fraction ratio.

는 N_u 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_u 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 경우으로써 향후 5~10 GHz 대역에서 공유되는 IR 시스템에서 간섭으로 영향을 미칠 경우를 상정하여 분석하였다. 따라서, 정확한 간섭 점유율의 추정을 통해 IR 시스템 사용 대역폭에서 간섭 점유율이 0.1 이상일 경우는 적절한 N_u 의 증가와 간섭으로 인한 에러를 보상하기 위한 코딩 기법이 적용되어야 하고, 간섭 점유율이 0.1 이하인 경우 N_u 의 증가보다는 협대역 간섭에 대한 강력한 코딩기법을 적용함으로써 타 시스템과의 주파수 공유와 더불어 최적의 전송효율을 갖는 시스템 설계가 가능함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IR 시스템과 동일 주파수 대역을 사용하는 다른 시스템에 의한 협대역 간섭 발생시 IR 시스템의 성능을 분석하였다.

수신기에서 완벽한 시간동기를 가정한 경우, 동일 주파수 대역을 사용하는 다른 시스템에 의한 간

섭으로 IR 시스템의 성능이 현저하게 떨어짐을 알 수 있었다. 특히, 간섭의 IR 시스템 사용 대역폭 점유율에 따라 그 영향이 크게 변화함을 알 수 있었다. 본 논문의 분석 결과, IR 시스템에서는 간섭의 전력면보다는 간섭의 점유 대역폭에 따라서 성능 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 부분대역 간섭 환경에서는 N_u 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_u 를 증가시켜도 시스템 성능에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

따라서, 이러한 분석을 바탕으로 IR 시스템의 사용 대역폭과 동일한 주파수 대역을 사용하는 기존의 시스템으로부터의 간섭의 영향에 대해 정확한 간섭 점유율을 추정하여 대역폭 점유율에 따른 최적의 N_u 를 설정하고 적절한 코딩 기법을 적용함으로써 타 시스템과의 주파수 공유와 더불어 최상의 전송효율을 얻을 수 있을 것이다.

그러나, 본 논문에서는 수신단의 동기가 완벽하다고 가정했기 때문에 이러한 가정이 맞지 않은 경우에는 다원접속 간섭이 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 분석이 필요하다. 향후 실제적인 실내무선 채널 환경에서 동일 대역을 공유하는 타 시스템의 간섭과 다원접속간섭을 고려한 IR 시스템의 구체적인 분석이 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 류충상, "UWB의 동향과 발전 전망", 전파 제 104호, 2002년 1-2월호.
- [2] Time Domain Corp., *Time-Modulated Ultra Wide-Band Radio Measurement & Spectrum Management Issues*, Presentation Material at National Radio Science Meeting, Boulder, USA, Jan. 1999.
- [3] J. Mardoff, "FCC Nulls Wider Commercial Use of Radical Radio Technology", *The New York Times* (Tech. Section), Dec. 21, 1998.
- [4] <http://www.fcc.gov/>
- [5] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hop-

ping impulse modulation", *Proc. IEEE MILCOM '93*, pp. 447-450, Oct. 1993.

[6] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works", *IEEE Comm. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.

[7] R. A. Scholtz, M. Z. Win, *Impulse Radio in*

Wireless Communications (S. G. Glisic and P. A. Leppanen Eds.), Kluwer Academic Publishers, 1997.

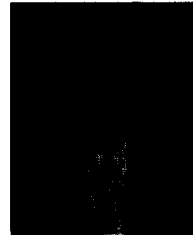
[8] M. K. Simon, et al., *Spread Spectrum Communication Handbook*, McGraw-Hill, 1994.

이 양 선



2001년 2월: 동신대학교 전기전자공학과 (공학사)
 2001년 3월~현재: 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 이동통신, 적응변조 시스템, 무선통신시스템, UWB 통신

이 권 현



1972년 2월: 조선대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
 1976년 8월: 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1985년 8월: 서독 Duisburg 대학교 대학원 (공학박사)
 1985년 9월~1986년 5월: 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원

강 희 조



1994년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)
 1994년 7월~1995년 12월: 전자통신연구원 위성망연구소 초빙 연구원
 1996년 8월~1997년 8월: 일본 오사카대학교 공학부 통신공학과

1986년 6월~1987년 2월: 삼성전기(주) 종합기술연구소 연구부장
 1990년 6월~1991년 9월: 서독 Aachen대학교 통신기기연구소 객원교수
 1994년 7월~1994년 8월: 일본 Musashi공업대 전기기기연구소 객원교수
 1995년 7월~1995년 8월: 서독 Imech연구소 객원교수
 1987년 2월~1998년 1월: 동신대학교 전기전자공학과 교수
 1998년 2월~현재: 도립담양대학 초고속정보통신공학부 교수
 [주 관심분야] 광시스템, EMI/EMC, 측정시스템, 특수 전기 기기

객원 교수
 1998년 3월~1998년 8월: 전자통신연구원 무선이동위성통신시스템 연구소 초빙연구원
 2000년 6월~2002년 5월: 한국전자파학회 호남지부 지부장
 1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자정보통신공학부 교수
 2000년 7월~현재: 지역산업정보화센터 센터장
 2000년 9월~현재: 디지털 영상매체 기술혁신센터(TIC) 부소장
 [주 관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파, 전자발광(Electro Luminescence) 디스플레이