

실내 페이딩 채널에서 초광대역 시스템의 성능 평가

정회원 이 문 승*

Performance Evaluation of Ultra Wide Band System in Indoor Fading Channel

Moon Seung Lee* *Regular Member*

요 약

대용량의 전송이 가능하고 많은 사용자 수용이 가능한 방식으로써 UWB-IR(Ultra Wideband Impulse Radio: 초광대역 임펄스 무선통신) 방식이 주목을 받고 있다. 지금까지 UWB-IR의 고속화, 사용자간 간섭 제거 등을 목적으로 다차 변조 방식이 복수 제안되고 비교 검토되고 있다. UWB-IR 다차 변조 방식은 동일한 데이터 전송율을 얻기 위하여 보다 긴 펄스 반복 주기를 사용할 수 있다. 따라서 실내 환경에서와 같은 다중 경로 페이딩이 심한 경우 대용량의 데이터를 전송하기에 적합하리라고 생각된다.

본 논문에서는 채널의 진폭 특성만을 고려한 실내 무선 페이딩 환경에서 PPM 변조된 UWB-IR 통신 시스템의 채널 성능을 분석하였다. 또한, 채널 부호화 기법으로 에러정정 능력을 가진 BCH, RS, Convolution 부호화 기법을 적용함으로써 페이딩으로 인해 열화된 시스템 성능을 개선하였다.

Key Words : M-ary PPM, UWB-IR, multipath channel

ABSTRACT

UWB-IR(Ultra Wideband Impulse Radio) takes attention as a system which can have high-capacity and pick up a large number of users. So far, systems of UWB-IR with multiple modulation have been supposed for speed up and elimination of interference among users. UWB-IR M-ary PPM can use a long pulse repetition period to obtain the same data transmission rate.

In this paper, we analyzed channel performance of PPM modulated UWB-IR communication system in indoor radio fading environment that consider amplitude characteristic of channel. Also, we improved performance of system that it is decreased in fading environment employing BCH, RS, Convolution encoding technique.

I. 서 론

최근 사무실과 가정 내에서 무선 LAN의 수요가 확대되고 있다. Computer의 소형화, 고속화, 대용량화가 진행되는 지금 고품질에 고속이면서 많은 사용자를 수용할 수 있는 통신방식이 요구되고 있다. 이런 상황에서 대용량 전송이 가능하고 많은 사용

자가 수용 할 수 있는 방식으로 UWB-IR(Ultra Wide Band-Impulse Radio : 초광대역 임펄스 무선통신) 방식이 주목받고 있다^{[1],[2]}.

UWB-IR 방식은 프레임 시간 간격이라 불리는 일정한 평균시간 내에서 펄스를 송신하는 방식이다^[3]. 즉, UWB-IR 시스템에서 10Mbps의 전송율을 구현하기 위해서는 한 비트를 보내기 위한 비트 시

※ 본 연구는 2007년도 인하공업전문대학 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 인하공업전문대학 정보통신과 (mslee@mail.inhac.ac.kr)

논문번호 : 08043-0623, 접수일자 : 2008년 6월 23일

간이 10ns이어야 한다. 이는 이웃한 펄스간의 평균 시간이 10ns이어야 함을 의미한다. 또한, 펄스의 최대 피크 전력을 줄이고 데이터를 보다 신뢰성 있게 송신하기 위하여 하나의 비트가 여러 개의 펄스로 보내지게 되면 프레임 시간 간격은 더욱 짧아지게 된다.

UWB-IR 방식은 나노초 이하의 임펄스를 사용하여 수 [GHz]의 주파수 대역에 스펙트럼을 확산하여 통신을 하는 방식이다. 종래의 무선통신과 거의 간섭하지 않기 때문에 주파수 대역의 공유가 가능하다. 또한 임펄스의 송신 시간이 통신시간 전체에 대하여 상당히 짧기 때문에 멀티 패스 환경에서의 영향이 작고 소비전력도 작다. 그리고 UWB-IR 방식에서는 유사 랜덤 부호를 이용한 TH(Time Hopping)계열을 사용자의 식별에 사용함으로써 다원 접속을 실현한다.

최근 UWB-IR의 고속화 및 사용자 간 간섭 제거 등을 목적으로 한 심볼로 여러 비트를 전송하는 다차 변조 방식이 다수 제안되어 비교 검토되고 있다^{[4]-[9]}. 이 중에서 다차 PPM(M-ary PPM : M-ary Pulse Position Modulation)을 사용하는 전송 방식과 Walsh 부호를 이용한 전송 방식^[5]이 제안되고 있다. 다차 PPM을 이용한 UWB-IR방식의 특징은 복수 비트의 입력 정보계열에 대해 송신 펄스를 각각 별개의 시간에 할당하여 다차화를 시행한다는 점이다. 다차화를 하면 펄스의 발생 시간에 비해 긴 프레임시간을 유효하게 이용할 수 있지만 그 다차화의 상한은 펄스의 발생 시간과 프레임 시간에 의해 제한된다. Walsh 부호를 이용한 UWB-IR방식의 특징은 복수비트의 입력 정보계열에 대해 각각의 Walsh 부호를 할당하여 2-PPM으로 송수신함으로써 다차화를 가능하게 한다는 점이다.

본 논문에서는 실내 무선 채널 환경에서 고속화 및 간섭 제거 면에서 보다 효율적인 다차 PPM UWB-IR 통신 시스템의 성능을 분석하고자 한다^{[3],[10]}. 그리고 오율 성능 개선 기법으로 BCH, RS 그리고 Convolution 부호화 기법을 적용하여 시스템의 성능 개선 정도를 분석하고자 한다.

II. 다차 PPM UWB-IR 방식

2.1 송신기 모델

UWB-IR 방식에 사용되는 임펄스 신호는 모노 사이클 파형이라 부르며 이상적인 모델의 수신 파형은 다음과 같다.

$$W_{rec}(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] e^{-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2} \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} W_{rec}(t) dt = 0 \quad (2)$$

UWB-IR 방식은 이 모노 사이클 파형을 사용자 별로 할당된 TH 계열에 의해 시프트를 더해 송신함으로써 사용자간 간섭을 억제하고, 다원접속을 실현하는 CDMA 방식이다.

이 수신파형을 이용하여 멀티 사용자 환경 하에서 e 번째 사용자로부터의 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r^{(e)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} W_{rec} \cdot (t - jT_f - c_j^{(e)} T_c - \delta d_{[j/N_s]}^{(e)} - \tau_e) \quad (3)$$

여기서, T_f 는 펄스가 송신되는 시간 간격을 나타내고, 시간 칩 T_c 는 TH 계열에 의한 시프트 시간의 단위, $d_j^{(e)}$ 는 e 번째 사용자의 j 번째 TH 계열을 나타낸다. 또한 δ 는 e 번째 사용자의 $\{0,1\}$ 정보계열 $d^{(e)}$ 가 1인 경우의 시프트 시간, τ_e 는 송수신 시간의 비동기 지연이다. 1 비트의 정보 계열은 N_s 개의 펄스에 걸쳐 반복 송신된다. TH 계열 $d_j^{(e)}$ 는 $0 \leq d_j^{(e)} < N_h$ 을 충족하는 자연수로 하고, 거기에 $N_h T_c < T_f$ 인 관계가 성립되어야 한다.

다차 PPM 방식은 입력 k 비트에 대응하는 $M=2^k$ 개의 부호에서 한 개를 선택하여, 선택된 계열이 M 개 중에서 x 번째의 계열이라고 하고, 이어지는 입력 1 비트를 y 라고 하면 거기에 이어지는 입력 l 비트에서 $N=2^l$ 개 있는 PPM의 위치에서 한 개를 선택한다. 여기서 입력 l 비트를 10진수로 변환한 것을 z 라고 한다.

식 (1)의 수신 파형을 이용하여 다차 PPM 방식의 e 번째 사용자로부터 수신신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r^{(e)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} W_{rec} \cdot (t - jT_f - ((c_j^{(e)} + mz_{[j/N_s]}) \bmod N_h) T_c - \delta (d_{\text{walsh}(x_{[j/N_s]} \cdot j \bmod N_s)}^{(e)} \oplus y_{[j/N_s]}) - \tau_e) \quad (4)$$

여기서 m 은 정 의 실수, $d^{(e)}$ Walsh(a,b)는 a

번째에 대응하는 Walsh 부호의 b 번째 요소를 나타낸다. \oplus 는 배타적 논리 회로를 나타내며 정보 비트가 1일 때 Walsh 부호를 반전하는 것을 가리킨다.

그림 1은 다차 PPM 방식의 송신기 구성도이다.

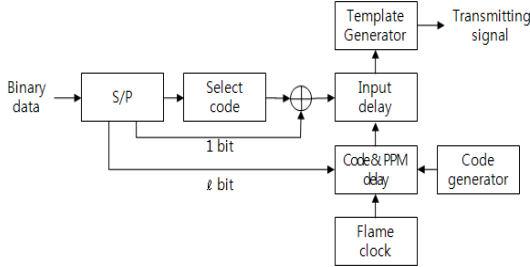


그림 1. 다차 PPM 방식의 송신기 구성도

2.2. 수신기 모델

수신기의 상관 Template 파형은 다음과 같다.

$$v(t) = W_{rec}(t) - W_{rec}(t - \delta) \quad (5)$$

수신기 측에서 송신 사용자의 TH 계열과 비동기 지연을 파악하고 있으면 수신신호와 상관 Template 파형으로 동기를 취해 송신 정보를 복호 시킬 수 있다. 사용자로부터 1 심볼당 수신파형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{bit}(t) = \sum_{j=iN_s}^{(i+1)N_s-1} W_{rec} \cdot (t - jT_f - c_j^{(e)} T_c - \delta d_{|j/N_s|}^{(e)} - \tau_e) \quad (6)$$

이에 대한 최적의 상관 파형은 $v(t)$ 를 이용하여 다음 식으로 표현한다

$$v_{bit}(t) = \sum_{j=iN_s}^{(i+1)N_s-1} v(t - jT_f - c_j^{(e)} T_c - \tau_e) \quad (7)$$

$r^{(e)}(t)$ 와 $v_{bit}(t)$ 의 상관을 취해 그 적분치가 정이면 정보 신호를 0으로 복호하고, 부이면 1로 복호한다.

특히, 수신기 측에서는 식 (6)을 사용하여 1 심볼 시간에 다음과 같은 상관을 취하여 메모리에 축적한다.

$$\alpha(j, i) = \int_{jT_f}^{(j+1)T_f} r^{(e)}(t) v(t - jT_f - ((c_j^{(e)} + mi) \bmod N_h) T_c - \tau_e) dt \quad (8)$$

여기서 i 는 $0 \leq i < N_s$ 을 충족하는 정수이다. 시간

mT_c 의 $v(t)$ 의 발생시간과 비교해 큰 경우, 단일의 상관기에서 (8)의 식을 계산할 수 있다. 이 적분치 (j, i) 를 이용하여 다음과 같은 식을 유도한다.

$$\alpha_{sum1}(i) = \sum_j^{N_s-1} |\alpha(j, i)| \quad (9)$$

이와 같은 $\alpha_{sum1}(i)$ 중에서 최대치를 취한 i 를 i_{max} 라고 한다. 이 i_{max} 는 PPM에 의해 송신되는 데이터를 특징하는 것으로 이 값에 의해 입력 l 비트를 복호한다. 따라서 i_{max} 에 의해 다음 식을 계산할 수 있다.

$$\alpha_{sum2}(n) = \sum_j^{N_s-1} C_{walsh}(j, n) \alpha(j, i_{max}) \quad (10)$$

여기서 $C_{walsh}(a, b)$ 는 a 번째의 정보 심볼에 대응하는 Walsh 부호의 b 번째 요소로 Walsh 부호의 $\{0, 1\}$ 계열 중에 0을 -1로 바꾼것이다. 이 $\alpha_{sum2}(n)$ 중에서 절대치가 최대가 되는 것을 선택하여 그 때의 n 의 값 n_{max} 로 송신축이 몇 번째의 Walsh 부호를 선택 하였는가를 판별하여 k 비트를 복호한다. 그리고 $\alpha_{sum2}(n_{max})$ 의 정부에 의해 송신측에서 Walsh 부호를 반전 하였는가 여부를 판정해서 1 비트를 복호한다.

이와 같이하여 1 심볼당 $k + l + 1$ 비트를 복호 할 수 있다. 제안한 수신기 모델은 그림 2와 같다.

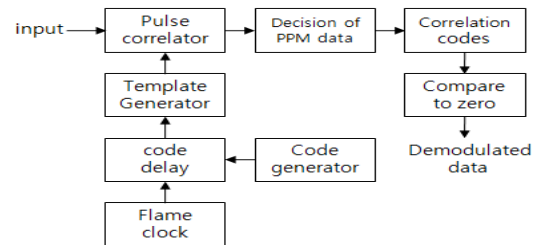


그림 2. 다차 PPM 방식의 수신기 구성도

III. 실내 페이딩 채널에서 시스템 분석

3.1. 실내 페이딩 채널 모델

UWB-IR 채널 모델링은 채널 임펄스 응답의 진폭, 지연시간 및 위상에 대한 통계적 특성을 결정하는 과정으로 얻어진 결과가 실제 측정된 데이터의 특성을 잘 표현할 수 있어야 한다.

Hashemi의 결과에서는 방대한 데이터를 근거해

서 진폭 및 도달 시간에 대한 통계적 특성을 얻었다면 진폭에 대한 채널 모델 특성은 기존에 제시한 몇몇 연구결과와 유사하게 실측 데이터가 Log-normal 분포와 잘 일치하는 결과를 얻었다^[11]. Cassioli 는 지연 시간에 대한 특성은 생략하고 진폭 특성에 대한 채널 모델만을 제시하였다^[12]. 이들이 사용한 측정 방법은 시간축 상에서 실제로 펄스를 보낸 후 샘플링해서 측정한 것이므로 실제 UWB IR 시스템에 근거했다는 장점이 있다.

실내 무선 채널에서 가우시안 모노 사이클 펄스가 수신기에 입사되는 경우 수신단 입력 파형 $p_{RX}(t)$ 는 가우시안 함수의 2차 미분된 형태로써 다음 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{RX}(t) = \left(1 - 4\pi \left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \exp\left(-2\pi \left[\frac{t}{t_n}\right]^2\right) \quad (11)$$

여기서, 신호의 스펙트럼과 시간영역 구조는 t_n 에 의해 결정된다.

UWB-IR 시스템에서 복조는 상관기를 이용하며, 수신 신호 $p_{RX}(t)$ 의 정규화된 신호 상관함수 $\gamma_p(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다^[5].

$$\begin{aligned} \gamma_p(\tau) &= \frac{1}{E_p} \int_{-\infty}^{+\infty} p_{RX}(t) p_{RX}(t+\tau) dt \\ &= \left[1 - 4\pi \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2 + \frac{4\pi^2}{3} \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^4\right] \exp\left(-\pi \left[\frac{\tau}{t_n}\right]^2\right) \end{aligned} \quad (12)$$

수신단 상관기에서 사용되는 기준 신호 $v(t)$ 는 식(13)과 같다.

$$v(t) = p_{RX}(t) - p_{RX}(t - \delta) \quad (13)$$

3.2. 부호화 기법

3.2.1. BCH 부호화 기법

BCH 부호는 순회부호 중 가장 중요한 부호로서 이 부호는 에러정정 부호로서도 가장 중요한 부호 중의 하나이다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장 (code length)과 에러정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러정정 능력을 갖는 부호 중 용장도가 제일 적은 부호이다. 신호가 직교 신호일 때 BCH 부호화한 비트 오류식은 다음과 같다^[13].

$$\begin{aligned} P_{BCH} &= \frac{1}{\log_2 M} P_{eB} \\ &= \frac{1}{\log_2 M} \frac{1}{n} \sum_{i=r+1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \end{aligned} \quad (14)$$

단, P_e ; 부호율을 고려한 변조신호의 비트오율,
 M ; 심볼수,
 $t = [(d-1)/2]$; 에러 정정 능력,
 d ; 부호의 최소거리,
 n ; 블록의 최소거리.

3.2.2. RS 부호화 기법

RS 부호는 정보 심볼 k 와 검사 심볼 $n-k$ 의 비이진 n 심볼로 구성된다. $2t$ 검사 심볼을 갖춘 RS 부호는 t 개의 심볼 에러를 정정할 수 있다.

RS 블록 복호기의 출력에서의 심볼 오류식은 다음과 같다^[13].

$$\begin{aligned} P_{\text{sym-RS}} &= \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} \binom{n}{i, j} \\ &\cdot P^i \cdot (1 - P)^{n-i-j} \end{aligned} \quad (15)$$

단, P ; RS 부호 통신로 심볼 오율,

$$\binom{n}{i, j} = \frac{n!}{i! \cdot j! \cdot (n-i-j)!} \cdot$$

RS 블록 복호기의 출력에서의 비트 오류식은 심볼 오류식으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$P_{b-RS} = \frac{P_{\text{sym-RS}}}{2} \quad (16)$$

3.2.3. 컨벌루션 부호화 기법

비터비 복호 (Viterbi decoding)를 갖춘 컨벌루션 부호의 성능은 유니온 바운드(union bound) 기법의 상한 (upper bound)에 의해 결정된다. 정확한 부호어와 비교되는 모든 부정확한 부호어 에러 확률의 합에 의해 에러 확률 상한이 결정된다. 가우스 잡음 통신로에서 비터비 복호기 출력단에서의 신호 비트 오류의 상한식은 다음과 같다^[13].

$$P_{b-Viterbi} = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{\infty} w_j Q(\sqrt{2jR\gamma}) \quad (17)$$

단, $R = m/n$; 부호율 (code rate),
 w_j ; 부호 무게 구조,

$$Q(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^{\infty} e^{-\beta^2/2} d\beta.$$

IV. 수치 계산 및 성능 평가

본 논문에서는 실내 무선 채널 환경에서 다차 PPM UWB-IR 통신 시스템의 성능을 분석하였고, 오율 성능 개선 기법으로 BCH, RS 그리고 Convolution 부호화 기법을 각각 적용하여 시스템의 성능 개선 정도를 분석하였다.

그림 3은 다차 PPM 방식에 에러정정능력이 $t=2$ 인 BCH (15,7) 부호화 기법을 채용하였을 때의 오율 특성을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 M-ary 수가 증가할수록 오율 성능이 좋아짐을 알 수 있으며, 또한 4-PPM인 경우 BCH 부호화 기법을 적용하면 데이터 서비스의 QoS 기준($BER=10^{-5}$)에서 약 1dB 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

그림 4는 다차 PPM 방식에 부호화 길이가 n 이고, 에러정정능력이 $t=2$ 인 RS 부호화 기법을 채용하였을 때의 오율 특성을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 4-PPM인 경우 RS 부호화 기법을 적용하면 데이터 서비스의 QoS 기준($BER=10^{-5}$)에서 약 6.5dB 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

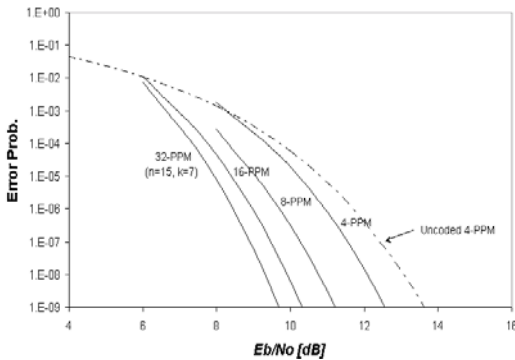


그림 3. 다차 PPM 방식에 BCH(15,7) 부호화 기법 채용시 오율 특성 ($t=2$)

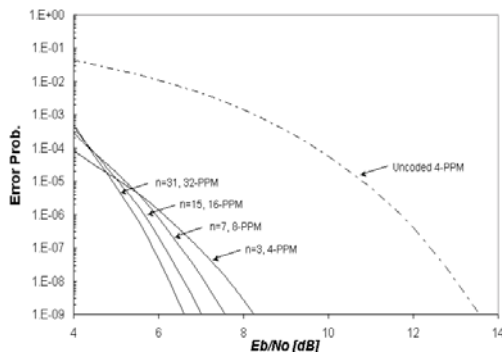


그림 4. 다차 PPM 방식에 RS 부호화 기법 채용시 오율 특성 ($t=2$)

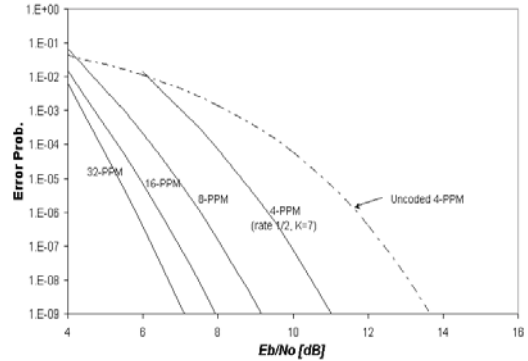


그림 5. 다차 PPM 방식에 Convolution 부호화 기법 채용시 오율 특성 ($R=1/2, K=7$)

그림 5는 다차 PPM 방식에 부호율이 $R=1/2$ 이고, 구속장이 $K=7$ 인 Convolution 부호화 기법을 채용하였을 때의 오율 특성을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 4-PPM인 경우 Convolution 부호화 기법을 적용하면 데이터 서비스의 QoS 기준($BER=10^{-5}$)에서 약 2dB 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실내 무선 채널 환경에서 다차 PPM UWB-IR 통신 시스템의 성능을 분석하였고, 오율 성능 개선 기법으로 BCH, RS 그리고 Convolution 부호화 기법을 각각 적용하여 시스템의 성능 개선 정도를 분석하였다. 성능 분석 결과, 다차 PPM 방식을 UWB-IR 통신 시스템에 적용하면 M-ary 수가 증가할수록 오율 성능이 좋아짐을 알 수 있었다. 또한 4-PPM 방식에 BCH, RS, 그리고 Convolution 부호화 기법을 적용하면 데이터 서비스의 QoS 기준($BER=10^{-5}$)에서 각각 약 1dB, 6.5dB, 그리고 2dB 정도의 성능 개선 효과가 나타남을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, pp.679-691, vol.48, no.4, April 2000.
- [2] R. A. Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation," in *Proc. MILCOM*, pp.

447-450, Oct. 1993.

[3] M.Z. Win and R.A. Scholtz, "Impulse Radio :how it works" *IEEE Comm. Lett*, Vol.2, No.2, pp.36-38, 1998.

[4] F. R.-Mirels, "Performance of ultra wide band SSMA using time hopping and M-ary PPM." *IEEE J. Selec. Areas Commun.* Vol.19, No.6, pp. 1186-1196, June 2001.

[5] 江島一樹, 梅林健太, 水谷克也, 河野隆二, "Impulse Radio(UWB)의 다중화 및 멀티유저용 간섭 제거 방식의 검토," *信學技報*, SST2001-16, CS2001-16, pp.41-48, April 2001.

[6] 佐々木重信, 鈴木智彦, 周杰, 村松正吾, 菊池久和, "UWB 無線伝送のための M-ary TH/CSK 방식" *信學技報*, SAT2002-26, pp.7-10. June 2002.

[7] 江島一樹, 水谷克也, 河野隆二, 長谷良裕, 大森慎吾, 高橋富士信, "USB impulse radio と DS-CDMA と FH-CDMA의 比較" *SITA* 2001, pp.803-806, Dec. 2001.

[8] 瀬川扇永, 江島一樹, 河野隆二, "Ultra wideband (UWB)無線通信における 멀티유저受信의 검토," *信學技報*, IT2001-68, ISEC2001-106, SST2001-184, ITS2001-122, pp.95-100, March 2002.

[9] 石山芳幸, 大槻知明, "多値変調を用いた UWB-IR 多元接續方式の特性評価" *電子情報通信學會通信ソサイエティ大會*, pp.457, Sept. 2002.

[10] M-G Win and RA. Scholtz. "Ultra-Wide Bandwidth Time Hopping Spread Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple Access Communications," *IEEE Trans on Comm*, Vol.48, No.4, pp.679-691, 2000.

[11] R. Ganesh and K. Pahlavan, "Statistical modeling and computer simulation of the indoor radio channel," *IEEE Proc. Part I : Commun., Speech and Vision*, Vol.138, No.3, pp.153-161, June 1991.

[12] D. Cassioli, M. Z. Win and A. F. Molisch, "A statistical model for the UWB indoor channel," *IEEE J. Select Areas Commun*, Vol. 20, pp. 1247-1257, Aug. 2002.

[13] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall, ch. 5, 1988.

이 문 승 (Moon Seung Lee)

정회원



1969년 2월 한국항공대학교 통
신공학과 공학사
1982년 2월 숭실대학교 전자공
학과 공학석사
1992년 8월 숭실대학교 전자공
학과 공학박사
1975년 3월~현재 인하공업전문
대학 정보통신과 교수

<관심분야> UWB-IR, M-ary PPM, multipath channel