

# PPM-기반의 UWB 시스템에 대한 PRF와 슬롯 시간의 영향

정희원 김성준\*, 임성빈\*\*

## The Effects of PRF and Slot Interval on the PPM-Based Ultra Wide-Band Systems

Sung-Jun Kim\*, Sung-Bin Im\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 다중경로 채널 환경에서 펄스 반복 빈도 (pulse repetition frequency, PRF)와 슬롯 시간이 UWB (ultra wide band) 무선 통신 시스템의 데이터 전송율 (throughput) 성능에 미치는 영향을 조사하고 이를 기반으로 유효 데이터 전송율이 최대화되도록 하는 PRF와 슬롯 시간을 이용한 전송율 제어를 제안한다. 최근에 UWB 시스템이 갖고 있는 장점으로 인하여 근거리 고속 무선 데이터 전송과 관련하여 관심이 고조되고 있다. UWB 시스템에서는 데이터 전송율을 결정짓는 파라미터로는 펄스를 반복하는 펄스 반복 회수와 펄스간의 간격을 결정짓는 슬롯 시간을 들 수 있다. AWGN이 존재하는 다중경로 채널 하에 있는 UWB 시스템은 펄스간의 간섭 (inter-pulse interference, IPI)과 잡음에 의하여 시스템 성능이 저하된다. UWB 시스템은 이 두 파라미터의 조절을 통하여 시스템의 성능을 유지 또는 개선할 수 있다. 본 논문에서는 두 파라미터의 변화가 다양한 채널 환경에서 데이터 전송율에 미치는 영향을 모의실험을 통하여 관측하고 이를 기반으로 설계된 가변 전송율을 사용하는 것이 비가변적인 방법에 비하여 유효 데이터 전송율 측면에서 우수함을 모의실험을 통하여 검증하였다.

Key Words : Ultra Wide Band, Throughput, Pulse Repetition Frequency, Slot Interval

### ABSTRACT

In this paper, we investigate the effect of pulse repetition frequency (PRF) and slot interval on the throughput performance of the ultra wide band (UWB) wireless communication system in multi-path channels, and based on these observations, a data throughput control using PRF and slot interval is proposed for maximizing the effective throughput. Recently, due to many desirable features of the UWB system, it has drawn much attention especially for short-range high-speed data transmission. The UWB system has two parameters to determine its data throughput; pulse repetition frequency and slot interval. In the multi-path channel with additive white Gaussian noise, the UWB system suffers from the inter-pulse interference (IPI) and noise, which result in degradation of system performance. The UWB system can vary the two parameters to maintain and/or improve the system performance. In this paper, we demonstrate the effects of the two parameters on the data throughput of the UWB system in various multi-path indoor channels through computer simulation, and show that the variable data rate approach designed based on the observations is superior to the fixed data rate one in terms of effective throughput performance.

\* 삼성전자 TN 총괄 통신 Solution Lab. \*\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (sbi@ssu.ac.kr)

논문번호 : 030096-0312, 접수일자 : 2003년 3월 12일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:R01-2001-000-00329-0)지원으로 수행되었음.

## I. 서론

최근 무선통신 서비스의 급속한 보급과 대용량의 서비스 (고속의 멀티미디어 통신 서비스)를 요구하는 수요자들의 급증으로 인하여 주파수 자원이 부족한 상태에 이르렀다. 이러한 상태에서 한정된 주파수 대역의 효과적인 분배와 이용은 통신정책의 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 이유로 기존의 사용 중인 주파수 대역과 간섭 없이 공존할 수 있는 초광대역 (ultra wide-band : 이하 UWB) 무선 통신 기술이 각광을 받고 있다. 특히 UWB 무선 통신 기술은 주파수 자원의 고갈을 심하게 겪고 있는 ISM (industrial, scientific and medical) 대역을 사용하는 근거리 무선 통신망, 예를 들어 무선 PAN (personal area network), 무선 LAN (local area network)에서 관심이 고조되고 있다. 이와 더불어 UWB 시스템이 갖고 있는 데이터 전송률과 신호대잡음비를 선형적으로 교환할 수 있는 특성으로 인하여 근거리 무선망 분야에서 관심이 높아지고 있다. 이러한 특성을 이용하면 근거리에서는 고속 전송을 수행하고 원거리에서는 거리에 따른 전송 마진을 유지하면서 저속 전송을 수행할 수 있다. 이러한 신호대잡음비와 전송률간의 관계가 AWGN (additive white Gaussian noise) 단일경로 채널에서는 단순하게 성립되나 실제 다중경로 채널에서는 IPI (inter-pulse interference)에 의해서 그 관계가 단순하게 규명되지 않는다.

UWB 시스템에 대한 기존의 연구는 주로 AWGN 채널에서 동작 원리의 소개 및 성능 검증에 관한 것이며 시스템 용량 및 데이터 전송률에 대한 연구 역시 주로 AWGN 채널을 가정하고 이루어진 결과들이다 [1,2,3,4]. 최근 들어 초광대역 채널 특성 및 모델링 [5,6,7,8]과 다중경로 채널에서 시스템의 성능 개선 방안에 대한 연구 [9,10,11]가 발표되고 있다. 지난 2002년 9월 IEEE 802.15 Study Group 3a에서 전송 속도에 대한 요구사항으로 10 m 거리에서 110 Mbps, 4 m에서 200 Mbps를 결정한 바가 있다. 현재까지, 다중 경로 채널에서 UWB 시스템에서 데이터 전송률의 설정 및 제어 방법에 대한 구체적인 연구는 미비한 상태이다.

본 논문에서는 고속의 전송률을 지원하는 근거리 무선 통신망에 UWB 무선 통신 시스템을 성공적으

로 적용시키기 위하여 실내 다중경로 채널에서 전송률 제어 방법을 제안하고자 한다. 이 방법에서 전송률의 제어는 UWB 시스템의 펄스 전송 간격인 슬롯 시간과 펄스 반복 빈도를 결정하는 PRF (pulse repetition frequency)의 조정으로 이루어지며, 다중경로 채널에서 채널 상태에 따라서 슬롯 시간과 PRF를 조정하여 주어진 채널에서 유효 데이터 전송율을 최대화하고자 한다. 이 방법의 타당성을 다중경로 채널환경에 대한 모의실험을 통하여 검증하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 PPM 방식의 UWB 무선 통신 시스템의 원리를 소개하고 3절에서 가변 전송률 적용 방법의 개념을 설명한다. 4절에서는 본 논문에서 고려하는 다중경로 채널 모델에 대하여 간단히 소개하고 5절에서는 시스템 성능 평가를 위한 모의 실험을 수행한다. 마지막으로 6절에서 결론을 내린다.

## II. PPM 방식의 UWB 무선 통신 시스템의 원리

UWB 신호는 중심 주파수의 25%이상을 점유하는 대역폭을 갖거나 1.5 GHz 이상의 점유 대역폭을 갖는 신호라고 정의된다 [12]. UWB 신호의 스펙트럼은 수 GHz에 걸친 넓은 주파수 대역에서 나타난다. 따라서 기존의 협대역성 통신 신호들이 있는 일부 대역에서 주파수를 공유하고 있지만 미국 FCC (Federal Communication Commission)의 규정에 의해 UWB 신호의 출력은 1mW 이내로 제한되어 있기 때문에 AWGN과 같이 매우 낮은 전력을 가지고 있어 기존의 다른 시스템에 AWGN과 유사한 영향을 미친다.

### 2.1 가우시안 모노사이클 펄스의 특성

본 논문에서는 식 (1)로 표현되는 가우시안 모노사이클 펄스를 사용한다. 이러한 가우시안 모노사이클 펄스는 DC 성분이 제거된 형태이기 때문에 효율적인 전송이 가능하다 [1,2,3,9,10].

$$v_{tx}(t) = 2\sqrt{\pi e} \frac{t}{\tau_p} \exp\left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_p}\right)^2\right] \quad (1)$$

여기서, 펄스의 크기는 1로 정규화 되었으며,  $\tau_p$ 에 의해서 펄스 폭이 결정된다. 식 (1)의 펄스는 이상적인 자유공간으로 전파되어 수신안테나를 통과하면

서 안테나의 미분 특성에 의해 식 (2)와 같이 모델링된다[4,11].

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

수신단의 상관기에서 사용되는 기준 신호  $v_{ref}(t)$  는 식 (3)과 같이 정의되며 여기서  $\delta$  는 PPM 방식에서 비트 “0” 과 “1”을 구분하는 펄스 간격을 의미한다.

$$v_{ref}(t) = w(t) - w(t - \delta) \quad (3)$$

AWGN환경에서 단일 사용자에게 대한 최적의  $\delta^*$  값은 식 (4)에서 구할 수 있다 [1,13].

$$\delta^* = \arg \min_{\delta} I(\delta) \quad (4)$$

여기서  $I(\delta) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} w(t)w(t-\delta)dt$  이다.

## 2.2 다원접속을 고려한 PPM 방식

다원접속이 가능한 UWB 시스템에서  $k$ 번째 사용자가 전송하는 신호  $s^{(k)}(t)$ 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서  $T_f$ 는 펄스 반복 시간으로써 일반적으로 펄스 폭의 수백 혹은 수천 배의 크기를 갖게되며, 따라서 가우시안 모노사이클 펄스는 매우 작은 duty cycle을 갖는다. 여러 사용자들은 하나의  $T_f$  내에서 일정 주기의 서로 다른 시간 도약 패턴을 통해서 다원접속을 하게 되는데  $c_j^{(k)}$ 는  $0 < c_j^{(k)} \leq N_h$ 의 조건을 만족하며  $k$ 번째 사용자의  $j$ 번째 시간 도약 부호를 나타낸다. 여기서  $N_h$ 는 정수이며 시간 도약 부호가 가질 수 있는 최대값이다. 시간 도약 부호의 사용은 다원접속을 가능케 하며 동시에 펄스 발생이 불규칙화 되어 주파수 영역에서 스펙트럼을 평탄화한다.  $T_c$ 는 제어 가능한 단위 시간

으로써 상관 복조 시 적분 간격이다. 그리고

$d_{\lfloor j/N_s \rfloor}^{(k)} \in \{0, 1\}$ 는  $k$ 번째 사용자의  $\lfloor j/N_s \rfloor$  번째 데이터 비트를 나타낸다. 또한  $N_s$ 는 하나의 데이터 비트에 대한 반복 전송 횟수이다. 본 논문에서는 다중경로 채널 환경과 데이터 전송률 간의 관계를 조사하므로 다원접속을 고려하지 않은 peer-to-peer 통신을 가정한다. 이 경우 식 (5)에서 시간 도약 부호  $c_j^{(k)}$ 는 무시할 수 있으며 한 프레임 내에 한 사용자만 존재하므로  $T_c = T_f$ 가 성립한다.

2진 PPM을 사용하는 경우 하나의 데이터 비트를  $N_s$ 번 반복해서 보내게 되면 실제 데이터 전송률은 식 (6)과 같다.

$$R_b = \frac{1}{N_s T_f} (bps) \quad (6)$$

우리는  $T_c$ 와  $N_h$  그리고  $\delta$  값을 선택할 수 있는데 단일경로 채널에서 연속된 펄스간의 충돌을 피하기 위해서는  $N_h T_c + \delta + w_b \leq T_f$ 를 만족해야 한다. 여기서  $w_b$ 는 하나의 펄스가 차지하는 시간 간격을 나타내며 조건을 만족하기 위해서 너무 작은  $T_c$ 와  $\delta$  값을 취하게 되면 인접 펄스와 충돌할 확률이 높아지므로 적절한 값의 선택이 중요하다.

2진 UWB 시스템에서 심볼 에너지  $E_b$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_b = N_s E_p \quad (7)$$

여기서  $E_p$ 는 펄스 에너지를 나타낸다. 식 (7)에 의하면 펄스 반복을 증가시키면 심볼 에너지가 증가하게 된다. 따라서 펄스 반복을 조정함으로써 신호대잡음비를 제어할 수 있거나 거리에 따른 전송 마진을 조정할 수 있다. 이러한 이유로 근거리에서는 전송마진이 적어도 되므로 작은  $N_s$  (고전송률)를 사용하며 원거리 또는 신호대잡음비가 저하된 경우  $N_s$ 의 큰 값(저전송률)을 사용하여 심볼 에너지를 증가시킬 수 있다. 그러나 지연확산이 큰 다중경로 채널에서는  $N_s$ 의 단순한 증가는 IPI도 함께

증가되므로 슬롯 시간  $T_c$ 와 함께 고려되어야 한다.

### III. 가변 전송률 적용

다중경로 채널에서 UWB 무선 통신 시스템의 성능에 영향을 미치는 주된 요인은 크게 잡음에 의한 신호대잡음비와 지연 확산에 의한 신호 왜곡이다. 실제 다중경로 채널 상황에서 시스템에서 요구되는 비트오율과 데이터 전송률을 만족하기 위해서  $T_c$ 와  $N_s$ 를 적절히 조절해야 한다. 물론 안테나 이득이나 코딩 이득의 조절을 통해서 다중경로 채널 환경에서 시스템의 성능을 향상시킬 수는 있으나 시변 채널 환경에 적응적으로 적용하기에는 아직 많은 어려움이 있다. 그러므로 채널 환경에 따라  $T_c$ 와  $N_s$ 의 조절을 통해서 데이터 전송률을 가변적으로 적용함으로써 일정한 성능을 유지하는 것이 바람직하다.

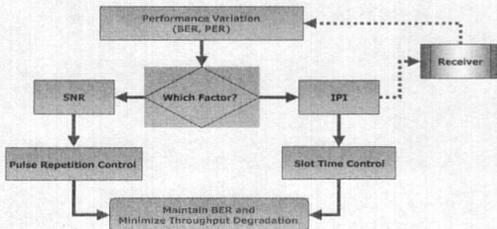


그림 1. 적응적 가변 전송률을 위한 구조도

그림 1은 본 논문에서 고려하는 가변 전송률의 적용 방안의 구조도이다. 그림 1에 나타난 것처럼, 먼저 수신단에서 일정 기준 이하/이상의 성능변화가 발생하면 성능변화의 원인이 신호대잡음비에 기인한 것인지 아니면 채널의 지연확산에 기인한 것인지 판단한다. 이 경우 수신단에서 신호대잡음비와 지연 확산 성분을 정확히 추정할 수 있다고 가정한다. 신호대잡음비에 따른 성능변화인 경우  $N_s$  즉 펄스 반복 빈도를 조정하여 신호대잡음비를 바꾼다. 성능변화가 채널의 지연확산의 변화에 기인하는 경우 슬롯 시간  $T_c$ 를 조정하여 데이터 전송률의 저하를 최소화하며 비트오율을 일정한 수준으로 유지한다.

### IV. 다중경로 채널 모델

좀더 정확한 UWB 무선 통신 시스템의 성능을 예측하기 위해서는 UWB 신호에 적합한 실내 다중경로 채널 환경에 대한 이해가 필요하다. 본 논문에서는 미국 Intel사에서 UWB 무선 통신 시스템에 적용한  $\Delta$ -K 모델과 수정된 포아송 프로세스 (Poisson process) 형태의 2-state Markov 모델을 이용하였다 [5,6,7].

UWB 무선 통신 시스템에 적용될 채널에 대한 임펄스 응답은 식 (8)과 같이 표현될 수 있다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l \delta(t - lT_m) \quad (8)$$

여기서  $\alpha_l$ 은 경로  $l$ 에 대한 페이딩 요소이며,  $T_m$ 은 펄스를 구분할 수 있는 최소 시간이며,  $L$ 은 다중경로 성분들의 수이며,  $\delta(t)$ 는 Dirac delta 함수이다. 경로  $l$ 에 대한 수신 파워는  $E[\alpha_l^2] = \Omega_0 e^{-\beta l}$ 으로 표현된다. 여기서  $\Omega_0$ 는 정규화된 총 수신 파워를 나타내며  $\beta$ 는 수신 파워의 감쇠 정도를 나타낸다. 또한 RMS (root mean square) 지연 확산  $T_{rms}$ 에 의해서  $L$ 과  $\beta$ 의 값이 결정된다. 다중경로를 통해 들어오는 신호의 전력은 직접 경로를 통해 들어오는 신호에 비해 약 30 dB 정도가 낮기 때문에  $L$ 과  $\beta$ 사이에  $e^{-L\beta} < 0.001$ 과 같은 관계가 성립된다 [6,14]. 다중경로에 의한 도착 시간은 도착 성분의 확률에 의한 2-state Markov 모델로 수정된 포아송 프로세스로 나타낼 수 있다. 도착 빈도(arrival rate)는 바로 앞 시간에서 도착 성분이 있느냐 없느냐에 따라서 확률적인 함수로 표현된다 [7,14].

표 1. 3가지 채널의 지연 확산 특성.

구분	채널 1	채널 2	채널 3
rms delay spread [nsec]	2.1	12	25
excess delay spread [nsec]	25	80	180

미국 Time Domain사에서 측정된 실내 다중경로 채널에서 거리에 따른 지연 확산 특성을 보면 크게 일반적인 가정과 사무실 환경으로 나눌 수 있는데 [8] 본 논문에서는 표 1과 같은 세 종류의 다중경로 채널을 고려했으며 각각 10개의 채널을 생성하였다. 채널 1은 가정 환경에서 근거리(1m 이하)에 있는 경우이고 채널 2는 일반적인 가정 환경으로 볼 수 있으며 채널 3은 사무실 환경으로 간주할 수 있다.

표 2. 모의 실험에서 사용된 파라미터들.

$\tau_p$	$0.3 \times 10^{-9}$ sec
$\delta^*$	$0.1687 \times 10^{-9}$ sec
샘플링 간격	$0.03125 \times 10^{-9}$ sec/sample
사용자 수	1
$T_c$	가변
$N_s$	가변
심볼 에너지	$E_b = N_s E_p$

### V. 모의 실험

본 절에서는 시변 채널 환경에서 UWB 시스템에 가변 전송률의 적용에 따른 성능 변화를 모의 실험을 통하여 관측하였다. 이 실험에서 가변 전송률은  $T_c$  및  $N_s$ 만의 조절을 통하여 결정된다고 가정하였고, 표 1의 세가지 채널에 대해서 실험을 수행하였다. 모의 실험을 위해 다음의 가정을 설정하였다.

- 가정 1: 본 논문의 목적이 가변 전송율의 전송에 따른 성능 개선에 있기 때문에 다원접속을 고려하지 않은 peer-to-peer 통신.
- 가정 2: 수신단에서 수신 신호의 신호대잡음비와 지연 확산을 정확히 추정할 수 있다.
- 가정 3: 표 2에 정리된 파라미터를 사용한다.

다중경로 채널 환경에서 일정한 데이터 전송률을 유지하는 경우  $T_c$ 와  $N_s$ 의 조절에 의한 영향을 식 (9)에서 정의된 유효 데이터 전송률 “Good-put”의 관점에서 비교하였다.

$$\text{Good-put} = \frac{\text{Total Good Bits}}{\text{Total Bits} \times T_c \times N_s} \quad (9)$$

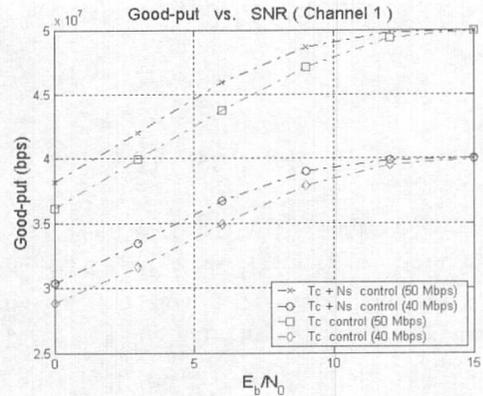


그림 2. 채널 1에서  $N_s$ 와  $T_c$  조절과  $T_c$  조절의 비교.

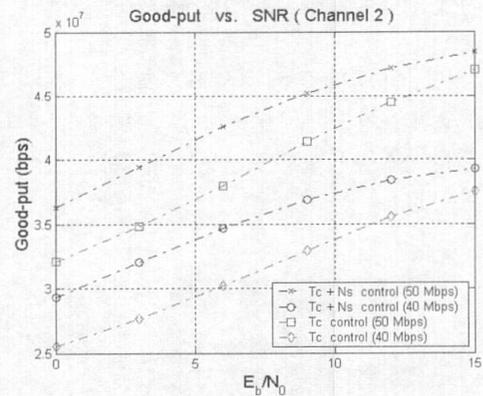


그림 3. 채널 2에서  $N_s$ 와  $T_c$  조절과  $T_c$  조절의 비교.

#### 5.1 다중경로 채널 환경에 따른 $T_c$ 와 $N_s$ 의 영향 비교

그림 2, 3, 4에서 표 1에 정리된 3가지 채널 각각에 대하여 신호대잡음비를 15 dB로 고정하고,  $N_s$ 와  $T_c$ 를 동시에 조절하는 경우와  $N_s=1$ 에서  $T_c$ 만을 조절하는 경우를 신호대잡음비에 따른 Good-put 성능을 비교하였다. 이 실험에서 고려된 데이터 전송율은 40과 50 Mbps이다. 그림 2와 3에 나타난 것처럼 지연확산이 상대적으로 작은 채널에 대해서는  $T_c$ 와  $N_s$ 를 동시에 조절하는 것이 우수한 것으로 나타나고 있으며 그림 4에 나타난 것처럼 지연확산이 긴 채널에서 신호대잡음비가 우수한 상황에서는  $T_c$ 만 조절하는 것이 유리하다. 표 3에서 이러한 결과를 신호대잡음비가 15 dB인 경우에 대하여 정리 비교하였다. 표에 나타난 것처럼, 채널

1과 2에서는  $N_s$ 와  $T_c$ 를 동시에 조절하는 경우와  $T_c$ 만 조절하는 경우의 유효 데이터 전송율의 차이는 거의 없으나 채널 3과 같이 지연 확산이 크고 신호대잡음비가 개선된 상황에서는  $T_c$ 만을 조절하는 것이 유효 데이터 전송율 측면에서 우수한 것으로 나타나고 있다.

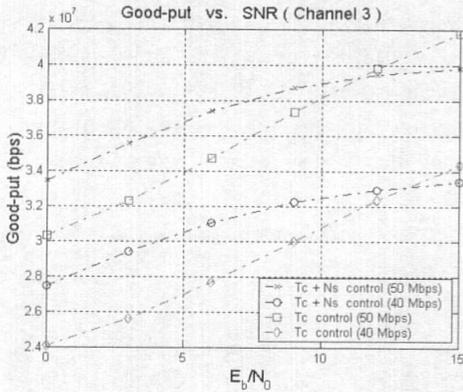


그림 4. 채널 3에서  $N_s$ 와  $T_c$  조절과  $T_c$  조절의 비교.

표 3. 40과 50 Mbps 데이터 전송율에서 성능비교 ( $T_c$ [nsec]).

데이터 전송률 [Mbps]		Good-put [Mbps] (신호대잡음비 15dB에서)			
		채널 1	채널 2	채널 3	
50	$N_s$ 와 $T_c$ 조절	$T_c=5$	49.99	48.43	39.83
		$N_s=4$			
	$T_c$ 조절	$T_c=20$	49.97	47.02	41.78
		$N_s=1$			
40	$N_s$ 와 $T_c$ 조절	$T_c=5$	39.99	39.32	33.41
		$N_s=5$			
	$T_c$ 조절	$T_c=25$	39.96	37.54	34.32
		$N_s=1$			
적절한 방법		$N_s$ 와 $T_c$	$N_s$ 와 $T_c$	$T_c$	

### 5.2 시변 채널 환경에서 $T_c$ 와 $N_s$ 조절에 의한 가변 전송률 적용

실제 무선 채널은 시간에 따라 변하는 시변 채널이다. 본 모의 실험에서는 이러한 시변 채널 상황에서 고정된  $T_c$ 와  $N_s$ 를 사용하는 경우와 채널 상황에 맞추어 가변하는  $T_c$ 와  $N_s$ 를 사용하는 경우의 성능을 비교하였다. 이 실험에서는 시간에 따라 “채

널 1 → 채널 2 → 채널 3”으로 채널 환경이 변하는 경우를 가정하였고 데이터 전송률은 50 Mbps를 유지하도록 설정하였다. 이 실험에서 사용된 방법 3가지와 15dB 신호대잡음비에서 해당 방법의 Good-put 결과를 표 4에 정리하였다. 그림 5는 세 가지 방법에 대하여 신호대잡음비에 따른 비트오율 특성을 보여주고 있다. 그림에 나타난 것처럼, 비트오율 특성 측면에서는 방법 1이 신호대잡음비에 상관없이 거의 일정한 비트오율을 보여주는 반면에 방법 3의 경우 신호대잡음비가 개선되며 그 성능이 우수해짐을 알 수 있다. 방법 2는 신호대잡음비가 개선되면서 그 성능이 방법 3과 유사해짐을 보여주고 있다. 표 4에 나타난 것처럼 채널 상황에 맞추어  $T_c$ 와  $N_s$ 를 조절하는 것이 Good-put 성능측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

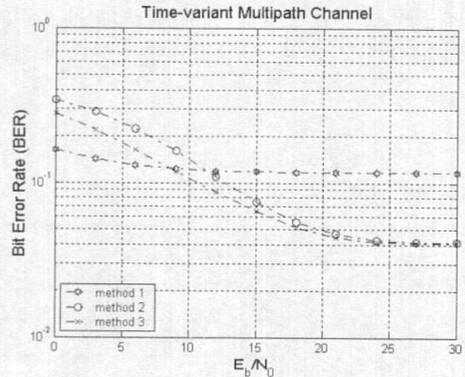


그림 5. 시변 채널에서 세 가지 방법의 비트오율.

표 4. 시변 채널에서 사용된 방법과 Good-put 결과 ( $T_c$ [nsec]).

데이터 전송률 (Good-put) [Mbps]		사용된 $T_c$ 와 $N_s$ 의 조합			
Method 1	50 (44.122)	Fixed	$T_c=1, N_s=20$		
Method 2	50 (46.26)	Fixed	$T_c=20, N_s=1$		
Method 3	50 (46.742)	Variable	채널 1	채널 2	채널 3
			$T_c=2, N_s=10$	$T_c=5, N_s=4$	$T_c=20, N_s=1$

마지막 실험에서는 시변 채널에서 비트오율을 일정 수준 이하로 유지하도록 하는 고정 및 가변  $T_c$ 와  $N_s$ 에 대해서 시스템의 Good-put 성능을 비교하

였다. 이 모의 실험에서 사용된  $T_c$ 와  $N_s$ 의 조합과 신호대잡음비를 15 dB에서  $10^{-3}$  이하의 비트오율을 유지하도록 설정하였을 때 해당  $T_c$ 와  $N_s$ 의 조합에서 나타나는 데이터 전송율, 평균 전송율, 유효 데이터 전송율을 표 5에 정리하였다. 표에서 보면 채널 상태에 상관없이 고정된  $T_c$ 와  $N_s$ 를 사용하는 방법 1의 경우 전송율이 10 Mbps를 고정되며 유효 데이터 전송율 Good-put은 약 9.9 Mbps로 나타나고 있다. 반면에 가변  $T_c$ 와  $N_s$ 를 사용하는 방법 2의 평균 데이터 전송율은 약 43.33 Mbps를 기록하며 이 때 유효 전송율은 43.305 Mbps로 나타나고 있다. 그림 6에 나타난 것처럼 방법 1과 방법 2의 신호대잡음비에 따른 비트오율은 유사하게 나타나지만 그림 7에 도시된 것처럼, Good-put 관점에서는 방법 2가 방법 1에 비하여 월등히 우수하다. 표 5에 계산된 평균 전송률 및 Good-put의 측면에서 방법 1과 2가 약 33 Mbps의 차이를 보이고 있다.

표 5. 시변 채널에서 비트오율을 유지하는 경우의 Good-put 결과 ( $T_c$ [nsec]).

BER (SNR=15dB)		접근 방법			
Method 1	$10^{-3}$	Fixed	채널 1	채널 2	채널 3
		데이터 전송율	$T_c=5, N_s=20$		
		평균 데이터 전송률 [Mbps] (Good-put)	10 (9.9947)		
Method 2	$10^{-3}$	Variable	채널 1	채널 2	채널 3
		데이터 전송율	$T_c=2, N_s=5$	$T_c=2, N_s=25$	$T_c=5, N_s=20$
		평균 데이터 전송률 [Mbps] (Good-put)	43.333 (43.305)		

VI. 결론

본 논문에서는 펄스 반복 빈도와 슬롯 시간이 다중경로 채널 환경 하에 있는 UWB 시스템의 데이터 전송율에 미치는 영향을 살펴보았다. 다중경로 채널에서 UWB 시스템의 성능을 저하시키는 주된

요인으로는 신호대잡음비의 저하와 지연 확산 성분에 의한 신호왜곡이다. 이 두 요인을 극복할 수 있는 주요 시스템 파라미터로는 펄스 반복 빈도와 슬롯 시간이며, 이 두 파라미터의 조정은 데이터 전송률의 변화를 초래한다. 본 논문에서는 이 두 파라미터가 시스템의 유효 데이터 전송률에 미치는 영향을 관측하고 이를 기반으로 설계된 채널 환경에 따라 가변하는 방법이 실제 유효 데이터 전송률 측면에서 비가변적인 방법보다 상당히 우수한 성능을 나타내고 있음을 모의 실험을 통하여 확인하였다. 제안된 방안을 성공적으로 적용하기 위해서는 신호대잡음비와 지연확산의 정확한 추정이 요구되며 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

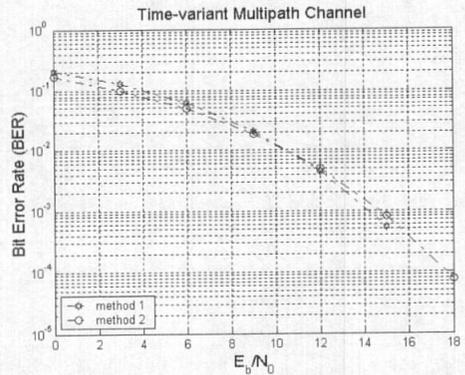


그림 6. 시변 채널에서 방법 1과 방법 2의 비트오율 성능.

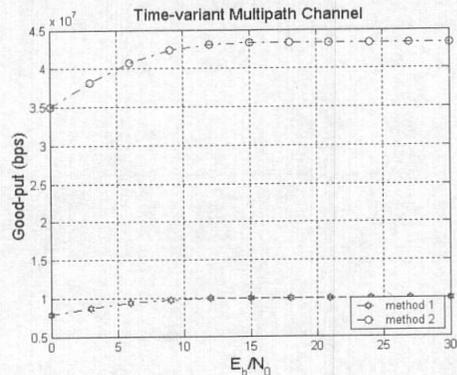


그림 7. 시변 채널에서 방법 1과 방법 2의 Good-put 성능.

참고 문헌

[1] R. A. Scholtz and M. Z. Win, "Multiple

- access with time hopping impulse modulation," *Proc. IEEE MILCOM'93*, pp. 447-450, Oct. 1993.
- [2] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol.3, no.2, pp.36-38, Feb. 1998.
- [3] R. A. Scholtz and M. Z. Win, "Impulse radio," *Wireless Communications* (S. G. Glisic and P. A. Leppanen Eds.), Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [4] F. Ramirez-Mirele and R. A. Scholtz, "System performance of impulse radio modulation," *RAWCON'98*, pp.67-70, 1998.
- [5] J. Foerster and Qinghua Li, "UWB channel modeling contribution from Intel," *IEEE P802.15-2/279r0-SG3a*.
- [6] J. Foerster, "The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," *VTC 2001-Spring*, May 2001.
- [7] Fang Zhu, Zhiqiang Wu and Carl R. Nassar, "Generalized fading channel model with UWB," *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 13-17, 2002.
- [8] S. Yano, "Investigating the ultra-wideband indoor wireless channel," *IEEE Vehicular Technology Conf. Spring 2002*, PAPER: TO3-165-Session WE43, Birmingham, AL, May 2002.
- [9] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "On the robustness of ultra-wide bandwidth signals in dense multipath environments," *IEEE Comm. Lett.*, vol. 2, pp. 51-53, Feb. 1998.
- [10] M. Z. Win, F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth (UWB) signal propagation for outdoor wireless communications," *Proc. VTC*, pp. 251-255, May 1997.
- [11] F. Ramirez-Mireles, "On the performance of ultra-wide-band signals in Gaussian noise and dense multipath," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, Issue: 1, pp.224-249, Jan. 2001.
- [12] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of part 15 of the communication's rules regarding ultra wideband transmission systems," First Report and Order, *ET-Docket No. 98-153*.
- [13] Jinchul Ahn and Yoan Shin, "A performance analysis of ultra wideband time hopping impulse radio communication systems," *Proc. of JCCI'99*, pp.133-137, 1999.
- [14] H. Hashemi, "Impulse response modeling of indoor radio propagation channels," *IEEE JSAC*, vol. 11, no. 7, pp. 967-978, Sept. 1993.

김성준(Sung-Jun Kim)

정회원



2001년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업  
 2003년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 석사  
 2003년 2월 ~ 현재 : 삼성전자 TN 총괄 통신 Solution Lab.

<주관심분야> WLAN, UWB, 디지털 홈

임성빈(Sung-Bin Im)

정회원



1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사  
 1994년 12월 : The University of Texas at Austin Ph.D.  
 1995년 9월 ~ 현재 : 숭실대학교

정보통신전자공학부 부교수

<주관심분야> 통신신호처리, UWB통신, 근거리무선망