

논문 2007-44TC-2-3

Bit Decision 윈도우를 이용한 Noncoherent IR-UWB 수신기의 심벌 동기에 관한 연구

(Symbol Synchronization Technique using Bit Decision Window for
Non-Coherent IR-UWB Systems)

이 순 우*, 박 영 진*, 김 관 호*

(Soon-Woo Lee, Young-Jin Park, and Kwan-Ho Kim)

요 약

본 논문에서는 Impulse-radio-based Ultra Wideband (IR-UWB)를 이용한 에너지 검출 기반의 비동기 수신기에서 저사양의 ADC와 간단한 디지털 회로만으로 이루어진 심벌 동기 획득(acquisition) 및 심벌 동기 추적(tracking) 방식을 제안한다. 기존의 심벌 동기 방식이 정확한 심벌 동기 “시점”을 찾는 것에 초점을 맞추었다면, 제안하는 방식은 심벌 동기 “구간”을 찾아 그 구간 내에서 데이터를 판단함으로써 하드웨어 복잡성을 낮추었고, 전력 소모를 줄였다. 이를 위해 심벌 동기 구간에 해당하는 BDW (Bit Decision Window)를 정의하고 SNR(Signal to Noise Ratio), 하드웨어 자원 및 BDW의 크기와 BER (Bit Error Rate)와의 관계를 분석하였다. 주어진 SNR과 하드웨어 자원으로 BER을 최소화하기 위한 BDW의 크기를 구한다. 제안한 알고리즘은 실제 임펄스 채널 특성을 고려하여 모의실험을 통하여 검증하였다.

Abstract

In this paper, we propose a technique of a practical symbol acquisition and tracking using a low complex ADC and simple digital circuits for noncoherent asynchronous impulse-radio-based Ultra Wideband (IR-UWB) receiver based on energy detection. Compared to previous approaches of detecting an exact acquisition time that require much hardware resource, the proposed technique is to detect the target symbol by finding the symbol acquisition interval per symbol with a target symbol, thus the complexity of the complete signal processing and power consumption by ADC are reduced. To do this, we define the bit decision window (BDW) and analyze the relation between SNR, hardware resource, size of BDW and BER(Bit Error Rate). Using the results, the optimum BDW size for the minimum BER with limited hardware resource is selected. The proposed synchronization technique is verified with an aid of a simulator programmed by considering practical impulse channels.

Keywords : Noncoherent IR-UWB, symbol synchronization

I. 서 론

초광대역 임펄스 (Impulse-radio-based Ultra wideband :IR-UWB) 기술은 시간 영역에서 극초단의 임펄스를 사용하는 방식으로 “무-반송파(carrier-free)”, “기저대역(baseband)” 또는 “임펄스(impulse)” 기술로 알려져 왔다. 이 기술은 RF 시스템의 간소화가 가능하

므로 저전력, 저복잡성의 시스템 구현이 가능하며 임펄스의 시간 정밀성을 활용한 정밀 위치 측정이 가능하며 최근 무선 근거리 개인 통신망 (WPAN) 및 위치 추적, 물류관리 및 레이더 등의 광범위한 응용 분야에서 기술 개발이 활발히 진행되고 있다^{[1]-[4]}. 여기서 나노 초 (nano second) 단위의 극초단 임펄스를 사용하는 초광대역 임펄스 기술의 핵심은 저전력, 저복잡도의 집적형 임펄스 발생기 기술과 방사된 임펄스를 수신하여 원래의 디지털 데이터를 복원하는 기술이다.

본 논문에서는 IR-UWB 기술의 핵심인 임펄스 수신

정희원, 한국전기연구원
(Korea Electrotechnology Research Institute
(KERI))

접수일자: 2006년11월22일, 수정완료일: 2007년2월14일

기에서 저전력, 저복잡도를 갖는 새로운 디지털 데이터 복원 방식 및 심벌 동기 방식을 제안한다.

심벌 동기를 얻기 위해 기존의 방식에서는 1GHz이상의 고속 ADC를 사용하여 매우 짧은 시간마다 수신된 IR-UWB 신호와 수신단 내의 템플릿 신호와의 correlation 값을 구하고 이 값이 최대가 되는 시점을 심벌 획득(acquisition) 시점으로 간주한다^{[5]-[7]}. 또한 정밀한 PLL(Phase Locked Loop)을 사용하여 심벌 획득 이후에도 계속해서 동기를 추적(tracking)한다. 그러나 심벌 동기를 맞추기 위해 이러한 고속의 ADC^{[8][9]} 및 정밀한 PLL(Phase Locked Loop)을 사용함으로써 저비용, 저전력을 특징으로 하는 IR-UWB 시스템의 장점이 사라지게 되며 IR-UWB 송수신 시스템의 상용화의 걸림돌이 된다. 특히 기존의 방식들이 정확한 심벌 동기 “시점”을 찾으려 했다면 본 논문은 심벌 동기 “구간”을 찾아 그 구간 내의 신호를 분석하여 데이터를 판별하는 방식을 택함으로써 정확한 동기 시점을 찾는 데 필요한 시스템 및 알고리즘의 복잡성을 줄이고 저사양 ADC와 간단한 디지털 회로만으로 심벌 동기를 획득(acquisition)하고 획득된 동기를 안정적으로 추적(tracking)시키는 방법을 제안한다. 제안된 기술의 검증을 위하여 IEEE 802.15.4a에서 제시된 채널 모델링 자료를 사용하여 시뮬레이션을 하였고 FPGA 보드 제작을 통해 그 성능을 검증하였다.

II. 이 론

그림 1은 본 논문에서 고려한 IR-UWB 시스템을 나타내었다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 에너지 검출 기반의 noncoherent IR-UWB 방식을 사용하며 시스템의 간소화를 위해 OOK (On Off Keying) 변조 방식을 사용한다^{[4][10]}. 송신부는 OOK 변조 방식을 사용하므로 입력 데이터에 따라 집적형 임펄스 발생기에서 임펄스를 발생시켜 직접 안테나를 통하여 방사되는 구조이다. 수신부는 광대역 안테나에 의한 외부 신호의 Interference를 막기 위하여 대역 통과필터를 사용하며 감쇄된 신호 증폭을 위하여 LNA를 사용하고 신호의 제곱을 위하여 자승기를 사용하며 자승된 신호의 에너지 검출을 위하여 포락선 검파기를 사용한다. 검파된 신호는 DC 성분을 포함하며 GHz 정도의 대역폭을 갖는 신호가 된다. 이 신호는 디지털 신호 변환을 위하여 저해상도의 ADC를 거쳐, 동기 획득 및 동기 추적을 위한 신호처리부의 입력이 된다.

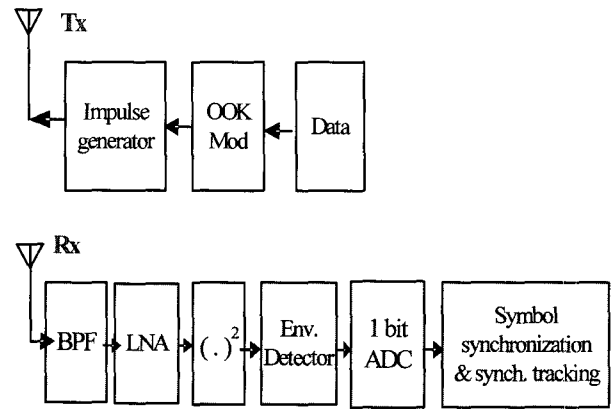


그림 1. 에너지 검출 방식의 Noncoherent IR-UWB 통신 시스템 블록도.

Fig. 1. Block diagram of energy detection based noncoherent IR-UWB communication system.

1. 동기 획득

(Symbol synchronization acquisition)

안테나를 통해 수신된 신호 $r(t)$ 는 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (1)$$

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \alpha_i p(t - iT_f) \quad (2)$$

$$h(t) = \sum_{i=1}^{N_p} \beta_i \delta(t - \tau_i) \quad (3)$$

식 (1)에서 $s(t)$ 는 식 (2)와 같이 OOK 방식으로 변조된 송신 신호이며 $h(t)$ 는 식 (3)과 같이 무선 채널의 Impulse response를 나타내며 $n(t)$ 는 AWGN을, *는 컨볼루션(convolution)을 의미한다. 또한 식 (2)에서 $p(t)$ 는 송신된 IR-UWB 펄스(심벌)이고 α_i 는 실제 데이터 정보로써 0 또는 1의 값을 가진다. T_f 는 프레임 간격 (심벌과 심벌 사이의 간격, 본 논문에서는 bit 간격과 동일함)을 의미한다. 식 (3)의 $h(t)$ 에서 β_i 는 i 번째 path의 크기와 위상을 의미하며 τ_i 는 i 번째 패스의 상대적인 시간지연을 나타낸다. 무선채널의 경로는 모두 N_p 개라고 가정하였다.

안테나로부터 수신된 신호는 그림 1과 같이 대역통과필터 (BPF), 저잡음 증폭기(LNA), 자승기 및 포락선 검파기를 통과하고 1-bit ADC로 샘플링 된다. 여기서 나오는 디지털 신호 $\tilde{r}(n)$ 는 0과 1의 값으로만 이루어지며 심벌 동기를 획득하기 위한 입력 신호가 된다. 특히 동기 획득 구간에서는 시스템에서 정해진 비트 만큼

모든 송신 데이터를 (식 (2)의 α_i) "1" 로 전송한다. 초기 심벌 동기 획득은 다음과 같이 3단계로 이루어진다.

STEP 1 : 입력 신호 $\tilde{r}(n)$ 의 잡음 제거

$\tilde{r}(n)$ 의 신호대 잡음비 (SNR)를 높이기 위하여 식 (4)와 같이 단순화된 정합필터(matched filter)를 사용하고 일정 크기 이하의 신호는 제거한다. 사용한 정합필터 $m(n)$ 는 크기가 1인 rectangular 형태이며, 필터의 폭 N_m 은 채널상태 및 송신펄스 신호에 따라 적절하게 설정할 수 있다. 노이즈 성분을 제거하기 위한 임계값 Th 은 평균 노이즈 크기의 1.5배 정도가 적당하다.

$$\tilde{r}_m(n) = t(n) \{ \tilde{r}(n) * m(n) \}$$

$$\begin{cases} m(n) = 1, & 0 \leq n < N_m \\ & = 0, \text{ others} \\ t(n) = 1, & \text{if } \tilde{r}(n) * m(n) \geq Th \\ & = 0, \text{ others} \end{cases} \quad (4)$$

STEP 2 : 동기 시점 가정

그림 2(e)와 같이 $\tilde{r}_m(n)$ 에서 독립적, 혹은 연속적으로 0 이 아닌 값을 갖는 sample 집단을 *island*, *island*내의 가장 큰 값을 갖는 sample 을 *flag*라 정의하고 첫 번째 *island*의 *flag* index, $n_{flag,1}$ 을 동기 시점이라고 가정한다.

$$\tilde{r}_m(n_{flag,i}) = \max \{ \tilde{r}_m(n_{island,i}) \}$$

$$n_{island,i} \in \{i^{th} \text{ island}\} \quad (5)$$

STEP 3 : 가정한 동기 시점을 검증

가정한 동기 시점을 검증하기 위해 먼저 동기 시점으로부터 프레임 시간 N_f 이후의 시점 $n_{flag,1} + N_f$ 을 중심으로 하고 N_{BDW} 의 폭을 갖는 *BDW*(Bit decision window) 를 정의하고, 식 (6)과 같이 *BDW*의 중심 BDW_{cen} 을 프레임 간격 N_f 으로 미리 설정된 횟수 N_i 만큼 이동하면서 *BDW* 내에 0이 아닌 값, 즉 심벌이 포함되어 있는지 조사한다(그림 2(f) 참고).

$$BDW_i \equiv [BDW_{cen,i} - N_{BDW}/2, BDW_{cen,i} + N_{BDW}/2] \quad (6)$$

where

$$BDW_{cen,i} = n_{flag,1} + iN_f \quad (i = 1, \dots, N_i).$$

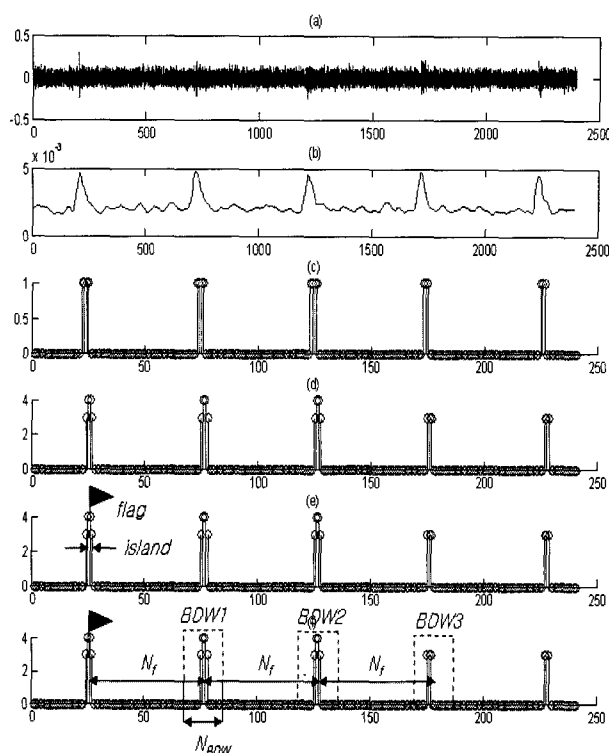


그림 2. 동기획득 과정. (a) 수신된 신호. (b) LNA, Square 및 Envelop detector를 통과한 신호. (c) 샘플링 및 1 bit으로 양자화된 신호. (d) STEP 1의 결과. (e) STEP 2의 결과. (f) STEP 3의 결과.

Fig. 2 Acquisition process. (a) Received signal. (b) After LNA, Squarer and Envelope detector. (c) After Sampling and 1 bit quantization. (d) Result of STEP 1. (e) Result of STEP 2. (f) Result of STEP 3.

설정된 횟수 N_i 동안 연속해서 *BDW* 내에 0이 아닌 값이 존재할 경우 STEP 2에서 가정한 $n_{flag,1}$ 을 정확한 동기 시점 n_{acq} 으로 간주하고 동기 획득을 마치며 그렇지 않을 경우 다음 샘플부터 동기가 획득되는 시점까지 STEP 2와 STEP 3를 반복적으로 수행한다. *BDW*의 반복횟수 N_i 는 3에서 5 정도면 적당하다.

*BDW*의 폭 N_{BDW} 을 좁게 할수록 정확한 동기를 얻을 수 있으나 무선채널, 잡음, Timing Jitter 등 환경의 변화에 민감하게 된다. 반대로 N_{BDW} 를 넓게 할수록 환경의 변화에 둔감해 지는 장점이 있지만 노이즈 성분이 증가하기 때문에 BER이 높아진다. 또한 안테나로부터 수신된 신호는 LNA, 자송기, 포락선 검파기를 통과하여 1 bit ADC로 샘플링 되는데, 심벌 동기획득 이후에는 *BDW*구간 내에서만 샘플링이 필요하기 때문에 N_{BDW} 의 크기와 수신단 전력소모와는 밀접한 관

런이 있다.

그림 2는 실제 동기 획득 과정을 도시하였으며 IEEE 802.15.4a의 UWB 채널 모델^[11] CMI (Residential LOS)을 사용하였다. 우선 그림 2(a)는 실제 임펄스 전파 채널을 통하여 수신된 파형을 나타낸다. 임펄스와 AWGN가 포함되어 있다. 그림 2(b)는 포락선 검파기를 거쳐 얻어진 신호를 나타낸다. 잡음이 신호와 함께 깔려 있음을 알 수 있다. 그림 2(c)는 포락선 검파된 신호를 1bit ADC를 통하여 양자화한 것이다. 그림 2(d)는 STEP 1의 결과로 정합필터를 사용한 결과로서 *island*가 형성되었음을 확인할 수 있다. 그림 2(e)는 *island* 내에서 가장 큰 값을(flag) 갖는 시점을 찾는 과정을 나타내며, 그림 2(f)는 전단에서 획득된 동기를 검증하는 과정이다.

2. 동기 추적 (Symbol synchronization tracking)

심벌 동기획득(acquisition)이 성공적으로 이루어지면 수신단에서는 STEP 3과 같이 동기획득 시점 n_{acq} 을 기준으로 프레임 간격 N_f 마다 BDW 를 재설정하여 BDW 내에서 데이터(0 또는 1)를 판별하며, BER을 낮추기 위하여 BDW 내의 신호에 대하여 STEP 1과 동일하게 전 처리과정을 수행한다. 그러나 정확한 심벌 동기 획득이 이루어졌다 하더라도 데이터 전송도중 송·수신기간의 거리가 달라지거나, 무선채널 환경 등이 수시로 변하기 때문에 주기적으로 심벌 동기 시점에 대한 추적(tracking)이 필요하다.

그림 3에 심벌 동기 추적 과정을 도시하였다. 그림으로부터 동기획득 구간 이후 첫 심벌에 대한 $BDW_{cen,1}$ 는 식 (7a)와 같이 동기 획득 시점 n_{acq} 을 기준으로 결정하고, $k+1$ 번째 심벌에 대한 BDW_{k+1} 의 중심 $BDW_{cen,k+1}$ 은 식 (7b)와 같이 이전 $BDW_{cen,k}$ 시점 외에도 옵셋 Δ_{k+1} 을 고려한다.

$$BDW_{cen,1} = n_{acq} + \alpha N_f \quad (7a)$$

$$BDW_{cen,k+1} = (BDW_{cen,k} + N_f) + \Delta_{k+1} \quad (7b)$$

여기서, α 는 동기 획득 구간의 전체 심벌수를 나타낸다. $k+1$ 번째 심벌의 옵셋 Δ_{k+1} 은 그림 3과 같이 k 번째 윈도우인 BDW_k 내에서 가장 큰 값(flag, 식 (5)참고)을 갖는 샘플 인덱스 $n_{flag,k}$ 와 BDW_k 의 중심 인덱스 $BDW_{cen,k}$ 의 차이로 정의하며 $k+1$ 번째 심

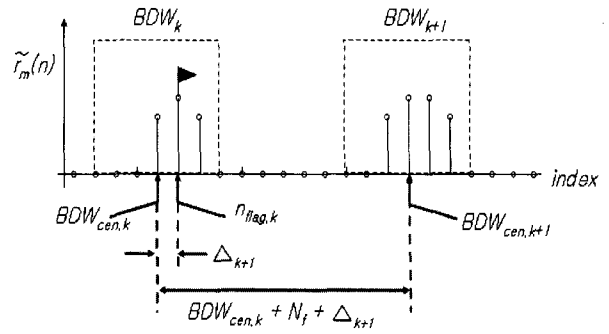


그림 3. 심벌 동기 추적 과정

Fig. 3. Symbol synchronization tracking process.

벌 구간 주위에서 각종 time-varying 소스에 의해 발생된 timing jitter를 의미한다. 만일 k 번째 심벌이 존재하지 않아 $n_{flag,k}$ 를 찾을 수 없는 경우에는 옵셋을 0으로 간주한다. 즉 본 논문에서는 OOK 방식을 사용하기 때문에 이전 심벌이 존재할 경우 (On 즉, bit 1)에 한하여 그 다음 BDW_{k+1} 의 옵셋을 변경함으로써 별도의 신호 없이 효율적으로 심벌을 추적할 수 있다.

이와 같은 심벌 추적을 통해 매 심벌마다 BDW 가 설정이 되면 BDW 내에서 비트를 판별할 수 있다. 전 처리 과정을 거친 수신신호 $\tilde{r}_m(n)$ 가 BDW 내에서 0이 아닌 sample을 가질 경우 "1 (ON)", 그렇지 않을 경우 "0 (OFF)"으로 판단한다.

III. 모의실험 및 결과

제안된 동기 획득 및 추적 알고리즘을 검증하기 위해 IEEE 802.15.4a의 UWB 채널 모델^[11] CMI (Residential LOS)을 사용하였다. IR-UWB 임펄스는 그림 4와 같이

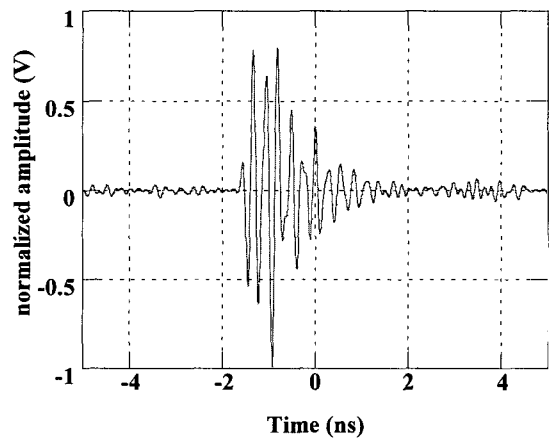
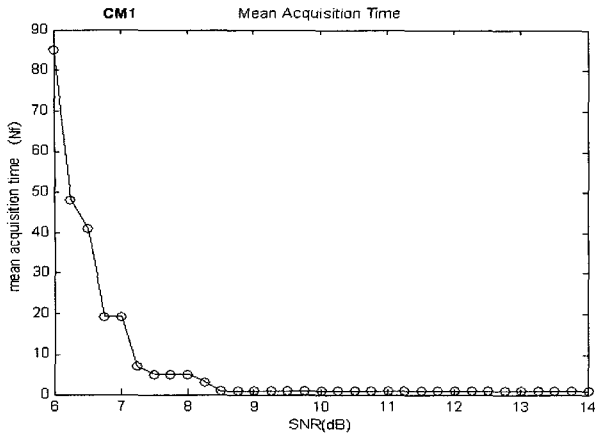
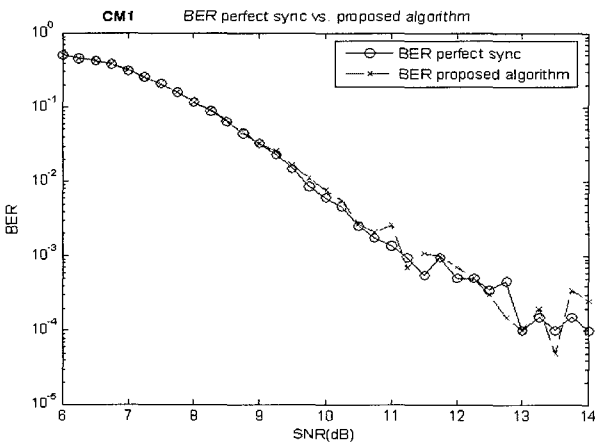


그림 4. 초광대역 임펄스

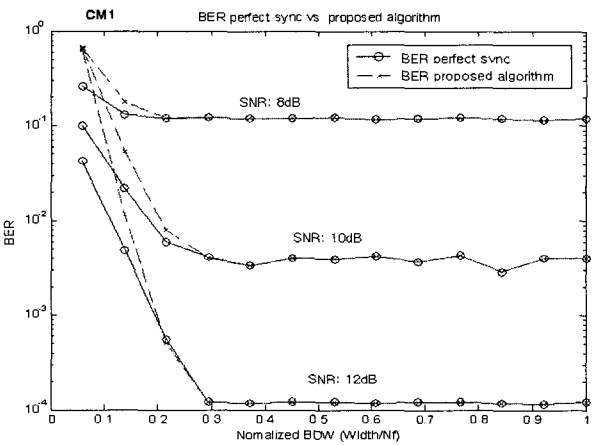
Fig. 4. UWB impulse shape.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 모의실험결과 (CM1) (a) 평균 획득 시간 대 신호대 잡음비 (SNR), (b) BER vs. SNR (c) BER vs. BDW

Fig. 5. Simulation Results (CM1) (a) Mean Acquisition Time vs. SNR (b) BER vs. SNR (c) BER vs. BDW.

본 연구원에서 제작한 초광대역 임펄스 발생기를 사용하였으며^[12] 실제 출력신호를 규격화 (Normalized)하여 사용하였다. 임펄스는 3.1~5.1 GHz 대역에서 신호 성분을 갖는다.

모의실험을 위해 대역통과필터는 실측한 자료를 사용하였으며 100MHz 1bit ADC를 사용하였다. 모의실험에서 샘플주기 T_s 는 10nsec, 프레임 간격 N_f 은 50으로 하였으며 사용한 샘플러는 기존의 GHz급 ADC에 비하여 낮은 사양이며 FPGA에서도 간단하게 구현할 수 있다.

그림 5는 CM1 환경에서의 모의실험 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 평균 동기 획득 시간을 나타낸 그래프이다. SNR이 약 8.5 dB 이상이면 첫 번째 프레임에서 동기를 획득함을 알 수 있으며 이 결과에 의하여 SNR에 따라 동기 획득 구간을 설정할 수 있다. 여기서 사용된 BDW 의 크기는 프레임간격 N_f 의 25% (Normalized $BDW = 0.25$)이다. 그림 5(b)는 SNR에 따른 BER의 추이를 나타낸 그래프로써 정확한 심벌 동기 시점을 알고 있는 경우(그림에서 perfect sync로 표시)와 유사한 BER 성능을 나타내며, 이로써 제안된 동기 추적방식이 잘 동작함을 알 수 있다. 여기서도 25%의 Normalized BDW 를 사용하였다. 그림 5(c)는 BDW 의 크기에 따른 BER의 영향을 나타내며 Normalized BDW 가 약 0.25이상이면 최대의 성능을 보인다. 즉 본 실험환경에서는 25%의 Normalized BDW 가 최적의 윈도우 크기임을 알 수 있다. 또한 이것은 약 25%의 구간에 대해서만 샘플링이 필요함을 의미하며 수신기의 소비전력을 25%로 낮출 수 있음을 시사한다. 이러한 추이는 CH1-CH4에서도 큰 차이를 보이지 않는데 이것은 식 (4)로부터 알 수 있듯이 제안된 동기 획득 및 추적에 이용한 단순화된 정합 필터가 채널에 관계없이 동일하며 낮은 성능 (100MHz 1bit 의 ADC)의 샘플러를 사용하였기 때문이다.

만일 높은 성능의 ADC와 채널을 고려한 정합 필터를 사용하면 채널 모델별로 최적화된 성능을 보일 뿐 아니라 최적 BDW 의 크기를 줄일 수 있으나 상대적으로 시스템의 복잡도는 높아진다. 따라서 Noncoherent IR-UWB의 시스템 사양에 맞는 ADC의 선택이 필요하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 에너지 검출 기반의 Noncoherent

IR-UWB 통신 시스템에서 저사양의 1bit ADC와 간단한 디지털 회로 만을 사용하여 초광대역 임펄스 신호를 디지털 신호로 복원하고 심벌 동기를 획득(acquisition)하고 추적(tracking)하는 방법을 제안하였다. 특히 정확한 심벌 동기시점을 찾는 대신 동기구간을 찾아 시스템의 복잡도를 낮출 수 있음을 제시하였다. 제안된 기술은 모의실험을 통해 성능을 검증하였다. 제안된 방법으로 수신기의 ADC 성능 및 SNR에 따라 최적의 BDW를 선택함으로써 BER을 최소화 할 수 있었고 BDW의 설정으로 수신된 신호의 ADC 샘플링 구간을 제한 할 수 있었으며 IR-UWB 수신기 시스템을 단순화 시켜 전체 시스템의 복잡도를 매우 단순화 시킬 수 있음을 보였다. 이러한 저전력, 저복잡도의 IR-UWB 시스템은 향후 WPAN(Wireless Personal Area Network) 또는 USN(Ubiquitous Sensor Network)의 핵심적인 요소 기술이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Kazimierz Siwiak, "Ultra-Wideband Radio Technology", John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [2] Ian Opermann et al., "UWB wireless sensor networks: UWEN - A practical example", IEEE Radio Comm., pp. s27-s32, Dec. 2004.
- [3] IEEE 802.15 WPAN low rate alternative PHY TG 4a [Online].
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.
- [4] Mustafa E. Şahin et al., "Optimization of Energy Detector Receivers for UWB systems", Vehicular Technology Conference, Vol. 2, pp 1386-1390 June 2005.
- [5] E. A. Homier and R. A. Scholtz, "Rapid acquisition of ultra-wideband signals in the dense multipath channel," Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. & Technol. (UWBST 2002), pp. 105-109, Baltimore, USA, May 2002.
- [6] J. Oh, S. Yang, and Y. Shin, "A rapid acquisition scheme for UWB signals in indoor wireless channels," Proc. IEEE Wireless Commun. & Networking Conf. Atlanta, USA, March 2004.
- [7] Yao Ma, F. Chin, B. Kannan, and S. Pasupathy, "Acquisition performance of an ultra wide-band communications system over a multiple access fading channel", in Proc. IEEE Conference on Ultra Wideband System and Technologies, May 2002, pp.99-103, May 2002.
- [8] R. Thirugnanam, D. S. Ha, and S. S. Choi, "Design of a 4-bit 1.4G samples/s low power folding ADC for DS-CDMA UWB transceivers", Proceedings of the 2005 IEEE Int. conf. on ultra-wideband (ICU 2005), pp. 536-541, 2005.
- [9] R. Blazquez, et al. "A baseband processor for pulsed ultra-wideband signals", proceedings of the IEEE 2004 Custom Integrated Circuits Conference, pp. 587-590, Oct. 2004.
- [10] Paquelet. S et al., "An impulse radio asynchronous transceiver for high data rates", Ultra Wideband Systems, 2005. Joint with Conf. on Ultrawideband Systems and Tech. Joint UWBST & IWUWBS. 2004, May 2004.
- [11] <ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/04/15-04-0662-04-004a-channel-model-final-report-r1.pdf>.
- [12] J.-W. Lee and Y.-J. Park, et al., "System-On-Package Ultra Wideband Transmitter using CMOS Impulse Generator" IEEE Trans. Microwave theory and techniques, vol. 54, no. 4, pp. 1667-1673, April 2006.

저 자 소 개



이 순 우(정회원)
 2001년 부산대학교 전자공학과
 학사 졸업
 2003년 한국과학기술원
 전기전자과 석사 졸업
 2004년~2005년 Hynix 반도체
 2005년~현재 한국전기연구원
 전기정보망기술연구
 그룹 근무.

<주관심분야 : 통신 및 영상 신호처리, VLSI 설
 계>



박 영 진(정회원)
 1997년 중앙대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1999년 한국과학기술원
 전기전자과 석사 졸업
 2002년 University of Karlsruhe
 전기전자과 박사 졸업
 2002년 11월~현재 한국전기연구원 전기정보망
 기술연구그룹 근무.

<주관심분야: Impulse radio propagation, UWB
 image radar, short range automotive radar,
 digital beam forming, power line
 communications (PLC)>



김 관 호(정회원)
 1978년 숭전대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1980년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1980년~1983년 한국전력공사.
 1983년~현재 한국전기연구원
 전기정보망 기술연구그룹
 그룹장.

<주관심분야 : 전파통신, 전력선통신시스템, 무선
 에너지 전송, UWB 레이더 및 센서>