

## DLL 구조를 이용한

# Ultra Wide-band 통신용 신호 검출 알고리즘

신 동 석, 정 정 화, 진 용 선\*

한양대학교 CAD & 통신회로연구실, \*경문대학교

전화 : 02-2290-0558 / 핸드폰 : 011-9036-4515

## A New Acquisition Algorithm using DLL for an Ultra Wide-band Communication System

Dong-Seok Shin, Sang-Hun Yoon, Jong-Wha Chong

Dept. of Electronic Engineering, CAD & Communication Circuit Lab., Hanyang University

E-mail : darken95@shira.hanyang.ac.kr

### Abstract

본 논문은 UWB(Ultra Wide-band) 통신 시스템에서 효과적인 신호 검출 알고리즘을 제안한다. UWB 통신 시스템은 차세대 통신 시스템으로 각광 받고 있는 기술로써, 매우 낮은 파워의 송신 신호를 사용한다. 그로 인해 잡음 및 다중 경로 환경하에서 신호 검출 알고리즘이 시스템 성능에 매우 중요한 부분으로 작용한다. 제안된 알고리즘은 신호 검출 성능을 높이기 위해, 신호의 정확한 위치를 잡는 Tracking 과정에서 사용되는 DLL 구조를 활용하여 보다 세밀한 신호 탐색이 가능하다. 실험 결과 신호 위치를 기준으로 신호길이의 1/3 내에서 신호를 검출할 확률이 AWGN 15dB 이하에서 30% 정도 높아짐을 확인하였다.

### I. 서론

최근에, 레이더 시스템에서 사용되었던 UWB 방식이 통신 시스템에 적용되면서부터, UWB 통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. UWB 통신 시스템은 기존의 협대역 통신 방식에서 사용하는

연속적인 반송파를 사용하지 않고, 단일 펄스를 이용한 통신 방식이다. 단일 펄스로 인해서 UWB 통신 시스템은 GHz 대의 대역폭을 가지며, 이로 인해 다른 무선 통신 시스템에 간섭을 줄 수 있게 된다. 현재 FCC에서는 UWB 통신 시스템에 의한 간섭을 피하기 위해 신호의 최대 파워를 잡음 레벨 이하(-41.3 dBm/MHz)로 규정하고 있다[3]. 잡음 레벨 이하의 최대 파워를 사용하면서, UWB 통신 시스템에서는 신호 검출 알고리즘이 시스템 성능에 중요한 부분으로 작용하고 있으며, 본 논문에서도 보다 효율적인 신호 검출 알고리즘에 대해서 제안한다.

본 논문은 II에서 FCC에서 규정하고 있는 신호 대역을 만족하는 UWB 신호를 소개하고 III에서는 신호 검출 알고리즘 및 DLL을 적용한 구조를 제안한다. IV에서 III의 알고리즘 보다 향상된 알고리즘과 구조를 제시하고 V에서는 시뮬레이션 결과를 다루고 VI에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

### II. 신호 모델

UWB 통신 시스템 용으로 여러 개의 신호가 제안되었으나, FCC의 UWB 통신용 MASK 규제에 의해 새로운 신호 생성이 필요하게 되었다[3]. FCC

MASK 에 맞는 신호를 생성하기 위해서 Gaussian 신호와 이를 주파수 천이 시키는 방법을 이용한다. 먼저, 필요한 대역폭 조절을 위해 Gaussian 신호의 표준 편차 ( $\sigma$ ) 값을 조절하고, 이 신호를 주파수 천이 시켜서 제한된 MASK 에 맞는 신호를 생성한다. 이 때, 정현파 sine 이 곱해져 천이된 형태와 정현파 cosine 이 곱해져 천이된 형태의 신호가 생성된다. 식 (1)

$$\begin{aligned} S_{\cos}(t) &= g(t) \times \cos(\omega_0 t) \\ S_{\sin}(t) &= g(t) \times \sin(\omega_0 t) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\omega_0$  는 중심 주파수를 나타내고,  $g(t)$  는 표준 편차가 조절된 Gaussian 신호이며 다음과 같다.

$$g(t) = \sqrt{p} \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-a}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2)$$

식 (2)에서  $\sqrt{p}$  는 전송 신호의 최대 파워이고,  $a$  는 시간지연을 나타낸다. 그림 1 과 그림 2 는 각각 생성된 펄스와 FCC MASK [3]에 적용한 그림이다.

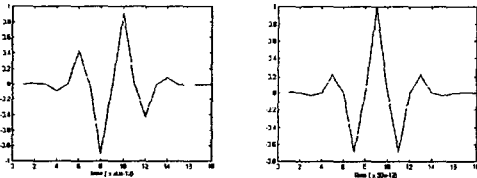


그림 1. 생성된 신호

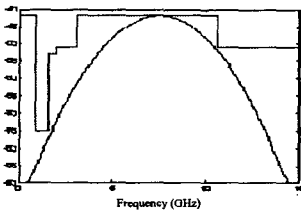


그림 2. FCC Mask 적용된 신호 스펙트럼

### III. 신호 검출 알고리즘 및 구조

#### 3.1 신호 검출 알고리즘

그림 3 에서는  $S_{\cos}(t)$  의 Auto-correlation 결과와

$S_{\sin}(t)$  의 Cross-correlation 결과를 나타낸다. 그림

3 에서 Correlation 특성 곡선이 시간에 따라 변화가 큰 것을 알 수 있다.

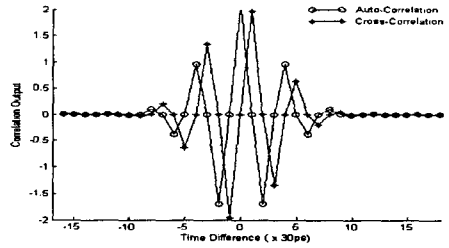


그림 3. Auto-correlation/Cross-correlation

하지만, 다음과 같은 특성을 이용하면, Correlation 특성이 그림 3 보다 좋아지게 된다.

$$\begin{aligned} \int_0^T \{ \cos(\omega_0 t) \times g(t) \} \times \{ g(t-\tau) \sin \omega_0(t-\tau) \} dt \\ = \frac{1}{2} \cos(\omega_0 \tau) \int_0^T g(t)g(t+\tau) dt \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \int_0^T \{ \cos(\omega_0 t) \times g(t) \} \times \{ g(t-\tau) \cos \omega_0(t-\tau) \} dt \\ = -\frac{1}{2} \sin(\omega_0 \tau) \int_0^T g(t)g(t+\tau) dt \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)와 식 (4)를 각각 제곱해서 더하면 식 (5)와 같이 나타나고 그 결과를 그림 (4)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{1}{2} \cos(\omega_0 \tau) G \right\}^2 + \left\{ -\frac{1}{2} \sin(\omega_0 \tau) G \right\}^2 \\ = \frac{1}{4} (\cos^2(\omega_0 \tau) + \sin^2(\omega_0 \tau)) G^2 = \frac{1}{4} G^2 \end{aligned}$$

$$(G = \int_0^T g(t)g(t+\tau) dt) \quad (5)$$

그림 4 에서 보듯이 선형 구간이 신호 폭만큼 넓어지므로 신호 폭만큼의 연속적 탐색이 가능하며, Tracking 이 용이해진다.

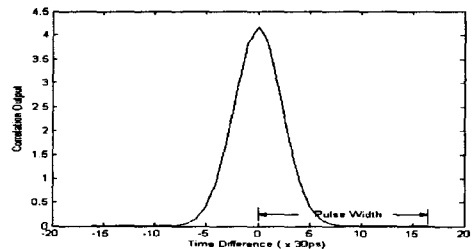


그림 4. 식 (5)를 나타낸 Correlation 특성 곡선

#### 3.2 Correlation 값의 추적

UWB 통신 용 신호는 그 파워가 매우 낮기 때문에 한번의 Correlation 값을 이용하는 것보다

Correlation 값을 여러 번 누적시켜서 신호를 검출하는 방법을 이용한다. 그림 5 는 AWGN 환경에서 N 번 누적시킨 횟수에 대해 정확한 신호의 위치를 기준으로 신호 길이( $T_p$ ) 내에 찾은 횟수를 나타내며 각  $E_b/N_0$  에서  $10^3$  번 실험한 결과이다.

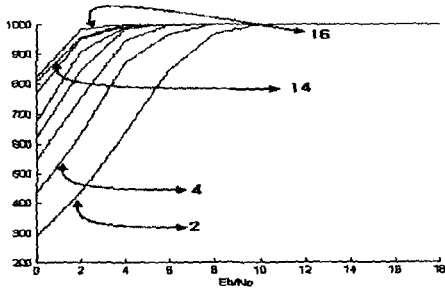


그림 5. N 번 누적에 따른 신호 검출 횟수

### 3.3 3.1 알고리즘과 DLL 을 적용한 수신단 구조

그림 6 은 3.1 알고리즘과 Tracking 을 위해 사용되는 DLL(Delay-Locked Loop)을 적용한 수신단 구조이다. 여기서 MAX 블록은 N 번 누적된  $T_{symbol}/T_p$  만큼의 Correlation 값을 비교하여, 그 중에 threshold 를 넘는 가장 큰 값의 위치를 검출한다.

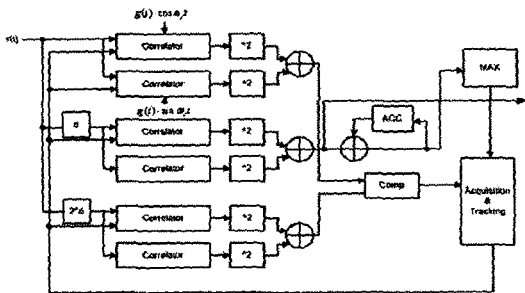


그림 6. 수신단 구조

## IV. 향상된 알고리즘 및 구조

### 4.1 알고리즘

III 에서 소개한 알고리즘은  $T_p$  만큼의 선형구간을 나타내는 Correlation 특성을 가진다. 그 특성으로 인해  $T_p$  만큼의 연속적인 탐색이 가능하고, Correlation 값이 적어도 최대 값의 1/2 이상

레벨에서 하나의 값을 검출하게 된다. 그러나 신호 검출에 있어 가장 나쁜 경우, 그림 7 의 Sampling Point 처럼 현재 Correlation 값과 다음 Correlation 값이 각각 최대 값의 1/2 레벨에서 검출되는 경우가 발생하게 된다. 이를 보완하여 신호 검출 확률을 보다 높이기 위해, 그림 6 의 구조에서 DLL 부분을 활용하면,  $T_p$  시간 만큼 연속적 탐색 시 DLL 구조의 지연을 나타내는 d (delay) 간격을 더 탐색할 수 있어, 신호 탐색이 보다 세밀하게 이루어진다. 그림 7 의 경우에 DLL Sampling Point 에 의해 기존 Sampling Point 값보다 큰 Correlation 값을 얻을 수 있어 신호 탐색 시 보다 큰 에너지 이득을 얻을 수 있다.

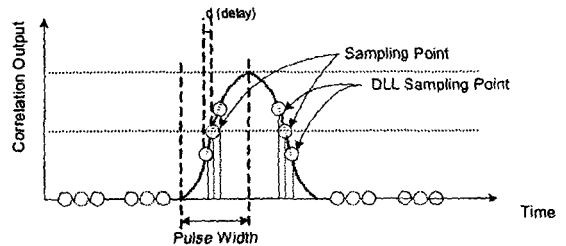


그림 7. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 Worst Case

d 값의 조절에 따라 신호 탐색 시 보다 큰 에너지 이득을 얻을 수 있는데,  $d = T_p / 3$  으로 하면 Correlation 최대 값의 5/6 이상의 레벨의 값을 가질 수 있다. 그러나 이 경우, Tracking 시 정밀성이 떨어지게 되는 단점이 생긴다. 이후 한 시점에서 3 개의 위치( $T_{current}-d$ ,  $T_{current}$ ,  $T_{current}+d$ ) 에 해당하는 Correlation 값과 그 위치가  $T_{symbol}/T_p$  만큼의 탐색 구간 중 하나에 저장되며, 이렇게 저장된 값 중에서 제일 큰 값의 위치가 신호에 사용된다.

### 4.2 하드웨어 구조

그림 9 은 제안된 알고리즘의 하드웨어 구조를 나타낸 것이다. 그림 6 구조와 비교해서 DLL 부분의 Adder 다음에 Correlation 값을 N 번 누적시킬 수 있는 Accumulator 를 달아 신호 탐색 영역( $T_{current}-d$ ,  $T_{current}$ ,  $T_{current}+d$ )을 넓히게 된다. MAX 블록은 동시에 들어오는 세 위치의 Correlation 값 중에서 가장 큰 값 하나를 선택해 저장하게 되고, 한 Symbol

구간 내에 저장된 값 중 Threshold 를 넘는 가장 큰 값을 신호 검출에 이용하게 된다.

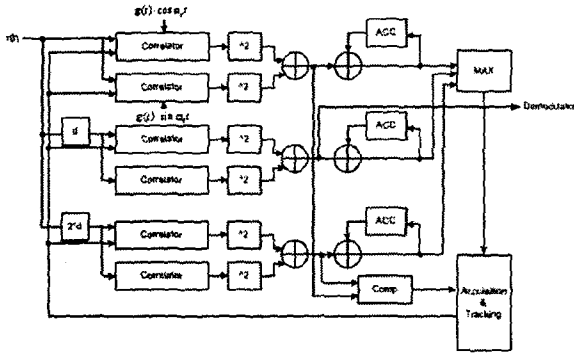


그림 9. 제안된 알고리즘이 적용된 수신단 구조

### V. 시뮬레이션 결과

그림 8 의 시뮬레이션 결과는 III 에서 제시된 알고리즘과 제안된 알고리즘에 대해, AGWN 환경에 시뮬레이션한 결과이다. 보내는 신호는 그 최대 값이 1 로 정규화 되었으며 임의의 위치에 신호를 발생시키고, 각 알고리즘에 대해 정확한 신호 위치를 기준으로  $T_p / 3$  내의 시간에서 신호를 검출한 확률을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션은 각  $E_b/N_0$  당 총  $10^5$  번 이루어졌다. 그 결과  $E_b/N_0$  15dB 이하에서 제안된 알고리즘의 신호 검출 확률이 약 0.3 정도 높음을 알 수 있다.

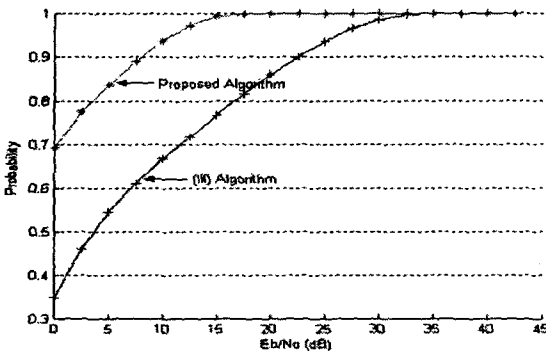


그림 8. 신호의 정확한 위치를 찾을 확률

### VI. 결론

본 논문은 UWB 통신 용 시스템에 있어 효과적인 신호 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은

신호의 정확한 위치를 찾기 위해 DLL 구조를 이용하여 보다 세밀하게 신호를 탐색하는 방법이다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 신호의 정확한 위치를 찾는 횟수를 측정하였으며, 실험 결과 신호 위치에서  $T_p / 3$  내에 떨어질 확률이 기존보다 보다 30% 정도 향상됨을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 Single-band 시스템 방식에 대해 실험 및 측정되었다. 그러나, 현재 통신용 UWB 의 표준화 동향을 살펴보면 Single-band, Multi-band, Code 를 이용한 확산 방법 등이 제시되고 있다. 이들 방식 중, Single-band 시스템에서 확장된 Multi-band 시스템에서도 본 논문에서 제안된 알고리즘이 적용 가능하다.

### 참고 문헌

- [1] Proakis J.G., *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1989
- [2] Sklar Bernard, *Digital Communications*, 2nd Edition, Prentice Hall PTR
- [3] 최상성, " UWB 통신 시스템의 전파 특성 ", 한국전자과학회지 VOL 13, NO 3, 2002. 7
- [4] IEEE 802.15.3a Call for proposal
- [5] Yao Ma, Chin, F., Kannan, B., Pasupathy, S., " Acquisition Performance Of An Ultra Wide-band Communications System Over A Multiple-Access Fading Channel," *Ultra Wideband Systems and Technologies, 2002. Digest of Papers. IEEE Conference on*, May 2002
- [6] Immoreev, I.I., Fedotov, P.G.S.D.V., " Detection of UWB signals reflected from complex targets," *Ultra Wideband Systems and Technologies, 2002. Digest of Papers. IEEE Conference on*, May 2002