

# S-Function을 이용한 초광대역 Time Hopping-PPM UWB 통신 시스템의 성능 평가

\*이 민 혁 \*전 제 훈 \*이 성 신 \*\* 정 주 수 \*변 건 식  
\* 동아대학교  
\* com4lee@hotmail.com

## Performance Analysis for Time-Hopping PPM UWB Communication using S-Function

\* Lee Min-Hyouck, \*Jeon Je-hun, \*Lee sung-sin \*\* Jeong Ju-su \*Byon kun-sik  
\*Donga University \*\*Kyungnam college

### 요 약

UWB 통신 기술은 초광대역 특성 때문에 높은 전송 속도와 저전력 통신이 가능하여 의료장비에 응용이 가능하며, 특히 유선이라는 제약성으로 큰 불편을 겪고 있는 ECG 시스템에 적용되어질 수 있다. 따라서 근거리 무선 통신 기술로 급부상하고 있는 UWB 통신 기술의 응용을 위해 UWB 신호 특성 및 변조 방식의 연구가 행하여져야 한다. 이에 본 논문에서는 UWB에 사용가능한 각종 펄스의 특성과 적용하고자 하는 시스템 환경에서 발생할 수 있는 UWB 신호의 간섭 영향을 분석하였으며, 간단한 UWB 송수신 시스템을 시뮬레이션 하였다.

### I. 서 론

UWB 스펙트럼 확산 신호 형태인 임펄스 무선은, 다중로가 있는 무선 환경의 단거리 통신에 적합한 성질을 갖고 있다. 수 ns 정도의 좁은 폭을 가진 임펄스 무선은 직류에서 수 GHz까지 매우 넓게 에너지 대역을 차지하고 있다. 수 GHz 이하에서 동작하는 임펄스 무선은 여러 가지 신호 간섭과 싸워야 하며 지정된 대역에서 다른 협대역 신호를 방해해서는 안된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 요구 사항으로 스펙트럼 확산 기술을 사용할 수 있다. 광대역이고 듀티 사이클이 작은 펄스 열에 대한 간단한 확산 스펙트럼 기술 중 하나는 시간 호핑이다.

Scholtz에 따르면, 시간 호핑 계열은 다중 접속에 의한 충돌을 제거하기 위해 각 사용자에게 별도의 시간 천이 패턴을 할당하게 되는데 임펄스 신호 기술을 사용하는 시간 호핑 변조는 여러 가지 특성을 가지며, 다중 접속에 적합하다. 본 논문에서는 수 ns 정도의 시간 폭을 가진 임펄스 무선 모노 사이

클의 종류와 특성, 이러한 모노 사이클이 다른 통신에 미치는 영향, 그리고 시간 호핑 특성과 검출을 조사하고 평가하도록 한다.[1][2]

### II. 이론적 배경

#### 1. 모노 펄스의 종류와 특성

UWB 통신 시스템의 성능은 사용되는 모노펄스의 형태와 변조 방법에 따라 좌우될 수 있다. 본 논문에서는 먼저 UWB 통신에 사용 가능한 가우시언 계열의 모노 펄스에 대한 시간과 주파수 영역에서의 특성을 조사하고, 특히 주요 무선장치와의 간섭 영향 분석을 위해 각 모노펄스에 대하여 3dB에 해당되는 대역폭을 정의하도록 한다. 가우시언 모노펄스는 식(1)과 같다.

$$w(t) = \sqrt{E_p} * \frac{2.1245}{\sqrt{\tau}} * e^{-32\left(\frac{t-T_c}{\tau}\right)^2} \quad (1)$$

식 1을 1차, 2차 미분한 식은 각각 식(2), 식(3)과 같으며, 가우시언을 2차 미분한 식(2)의 파형을 특히 scholtz 파형이라 한다.

$$w(t) = \sqrt{E_p} * \frac{24.0360}{\sqrt{\tau}} * \left(\frac{t-T_c}{\tau}\right) * e^{-32\left(\frac{t-T_c}{\tau}\right)^2} \quad (2)$$

$$w(t) = \sqrt{E_p} * \sqrt{\frac{8}{3\tau}} * \{1 - 4\pi\left(\frac{t-T_c}{\tau}\right)^2\} * e^{-2\pi\left(\frac{t-T_c}{\tau}\right)^2} \quad (3)$$

위의 식을 이용하여 모노펄스를 생성하기 위한 매트랩 시뮬링크 모델은 그림 1과 같다. 각 파형마다 펄스에너지(Ep)는 1로 정규화 하였으며 펄스 폭은 0.6ns으로 동일하였다.

주파수 영역에서 조사된 각 펄스의 대역폭은 가우시언 펄스의 경우 1.675GHz, 가우시언 1차 미분 펄스의 경우 2.35GHz (1.075~3.425GHz), scholtz 펄스의 경우 2.2GHz(1.775~3.975

GHz)로 나타났으며, 이를 도식화하면 그림 2와 같다.

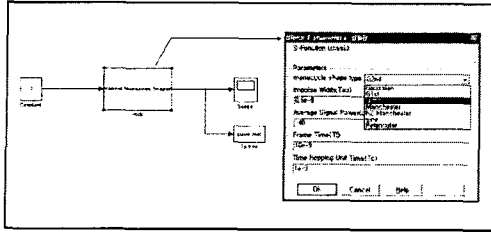


그림 1 s-function을 이용한 모노펄스 생성

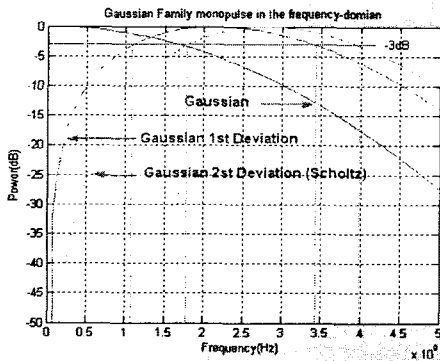


그림 2 가우시언 계열 모노펄스의 주파수 영역

2. 펄스열 과 변조기술

각종 모노 펄스를 이용하여 정보를 보내기 위해서는 변조 과정을 거쳐야 하며, 실제 데이터의 전송을 위해서는 변조된 모노펄스를 펄스폭에 비해 상당히 큰 프레임시간 간격 마다 반복 방출하게 된다. 즉, 데이터 변조가 된 펄스열(pulse train)인 매우 긴 모노펄스가 사용되어 진다. 본 논문에서는 기본 펄스의 위치를 정보에 따라 변화시키는 PPM(Pulse Position Modulation) 변조 방식에 따른 BER 특성을 가우시언 계열 펄스열마다 시뮬레이션을 하였다. 아래 식(4)는 PPM 변조되어 방사된 기본 신호 펄스열을 나타낸다.

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - iT_s - jT_f - b_j\delta) \quad (4)$$

시뮬레이션을 위해 사용된 PPM 변조된 펄스열은 수신부에서 상관기를 거치게 되고 그 출력 값으로 신호를 검파하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같고 가우시언을 2차 미분한 scholtz 파형의 BER 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다.[3]

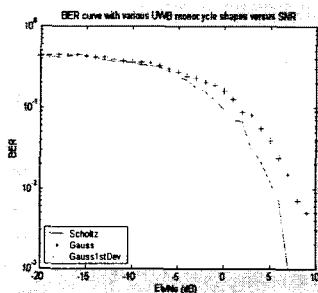


그림 3가우시언 계열 펄스열의 BER 특성

4. 시간호핑

펄스가 하나만 존재하는 단일 펄스의 경우에는 단순히 광대

역 잡음처럼 나타나지만 일정한 주기를 가지는 펄스열 신호는 주파수 영역에서 규칙적인 주기로 인하여 라인 스펙트럼 현상을 일으키게 된다. 이와 같은 현상은 다른 통신에서 에 간섭을 발생시킬 수 있으므로 펄스열의 규칙성을 제거할 필요가 있으므로 UWB 신호는 주파수 영역에서 광대역 잡음과 같은 특성을 보이도록 시간호핑을 이용한다. 일반적인 PPM 변조된 시간호핑 펄스열은 식(5)와 같고 시간호핑이 적용된 펄스열과 스펙트럼 특성은 그림 4와 같다. [4]

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - iT_s - jT_f - C_jT_c - b_j\delta) \quad (5)$$

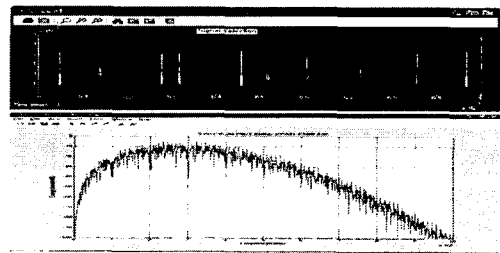


그림 4 Time Hopping된 펄스열과 스펙트럼

5. UWB 신호에 의한 QPSK 신호의 전파간섭

본 논문에서는 QPSK 신호에 UWB 통신이 미치는 영향을 확인하기 위하여 7가지 경우의 신호를 정의하고 시뮬레이션 하였다. 아래 식은 사용된 QPSK 신호 모델을 나타낸다.

$$s_{QPSK}(t) = 2\sqrt{\frac{E_b}{T}} \times \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2} i), i = 0, 1, 2, 3 \quad (6)$$

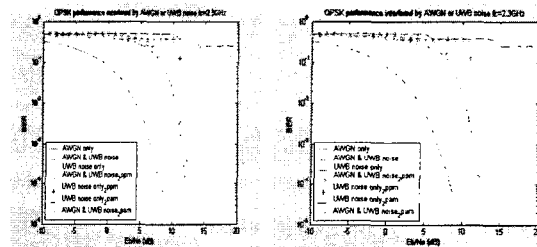


그림 5 QPSK 중심 주파수가 2.3GHz 일 때 (a) Time Hopping (b) Time Hopping 안함

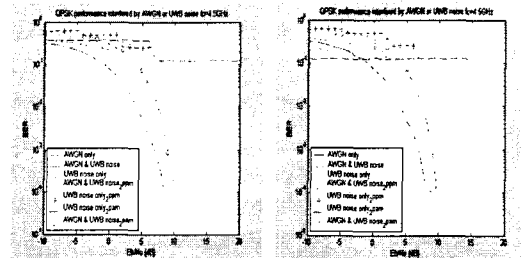


그림 6 QPSK 중심 주파수가 4.5GHz일 때 (a) Time Hopping (b) Time Hopping 안함

QPSK 신호간섭 시뮬레이션을 위해 정의된 잡음은 AWGN, UWB, PPM-TH UWB, PAM UWB(또는 PAM-TH UWB), AWGN + UWB, AWGN + PPM-TH UWB, AWGN + PAM UWB(또는 PAM-TH UWB)이며, 잡음 크기는 항상 1이 되도록 하였다. 여기서 UWB 신호란 주기가 일정한 펄스열을 나타내며, PAM UWB에 대해서는 Time

Hopping을 한 경우와 하지 않은 경우로 나누어 분석하였다. 각 신호를 구성하는 모노펄스는 BER 특성이 가장 우수한 scholtz 파형을 이용하였으며, QPSK 신호 간섭 영향을 위하여 시뮬레이션 된 QPSK 중심 주파수는 UWB 신호 대역내에 존재하는 2.3GHz와 대역폭을 벗어나는 4.5GHz의 중심 주파수를 선택하였다. 그림 5와 6은 각각 2.3GHz와 4.5GHz에 해당하는 UWB 신호의 영향을 나타낸 것이다. 모든 시뮬레이션 결과, Time Hopping을 하지 않은 경우에 QPSK 신호 간섭이 더 큰 것으로 나타났으며, scholtz 펄스의 대역폭에 존재하는 2.3GHz의 간섭 영향이 대역폭을 완전히 벗어난 4.5GHz보다 UWB 간섭 영향이 커짐을 알 수 있었다.

### III. 시간호핑 PPM UWB 통신시스템 성능 평가

#### 1. UWB 시스템 구성도

UWB 통신을 위한 송신기와 수신기의 구성 형태는 그림 7과 같다. 본 논문에서는 UWB 신호 전송을 위하여 BER 특성이 우수한 scholtz 펄스를 PPM 변조한 신호를 사용하여 시간호핑 PPM UWB 통신 시스템을 구성하였다.[3][4]

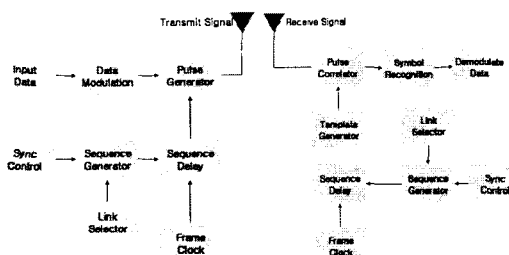


그림 7 UWB 통신 시스템 송·수신기 구성도

무선 채널을 통과하여 수신된 UWB 신호는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_k} A_k s_{res}^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (7)$$

여기서,  $N_k$ 는 링크수,  $\tau_k$ 는 지연성분을 나타내며, 잡음 성분  $n(t)$ 로서 AWGN이 사용되었다. 수신기는 펄스 상관기를 포함하고 있으며, 모노펄스와의 매칭을 위하여 template 신호가 생성되게 된다. template 신호와 수신 신호가 곱해진 뒤 적분된 출력 값을 임의의 임계값과 비교하며, 임계값 이상으로 판정이 되면 모노펄스의 정보를 판독하게 된다.

#### 2. UWB 신호 검파

UWB 수신기의 첫 번째 단계는 상관기를 사용하여 UWB 신호를 우선적으로 검파하여야 한다. 펄스폭에 해당하는 만큼의 윈도우를 슬라이딩 시키면서 수신 신호를 적분하여 임계값 이상이 되었을 때 UWB 신호 검파 시간을 추출한다. 따라서 윈도우의 제일 오른쪽 시간과 펄스폭을 이용하여 UWB 신호가 검파된 시간을 얻을 수 있다. 신호 검파를 위한 시스템 구성도는 그림 8의 ①과 같다.

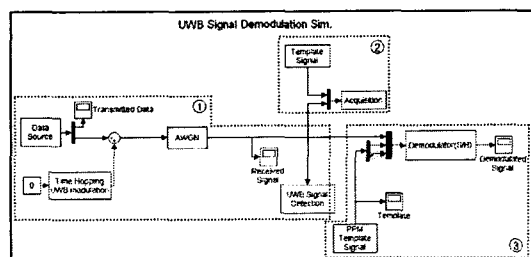


그림 8 UWB 신호 검파 시뮬레이션 구성도

#### 2. PN 코드 동기

UWB 신호는 데이터 한 심볼에 대해  $N_s (= T_s/T_f)$  만큼의 펄스를 반복 전송한다. 이때 심볼에 따라  $\delta$  만큼 천이가 되며 PN 코드를 이용하여  $T_f$  마다 펄스의 전송 시간을 결정하게 된다. 결국  $T_s$  동안 동일한 송신 PN 코드값과 수신 PN 코드값이 일치하는 시점이 생기면 PPM 원리에 따라 심볼을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 심볼1인 경우에 대해서만 delta 만큼의 천이를 한 PPM 방식을 적용하였으므로 송수신 PN 코드값이 일치하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 판단이 가능하다. 그러나, 송신 PN 코드와 수신 PN 코드가 일치하지 않은 상태에서의 복조는 무의미하다. 따라서, PN 코드 동기 과정은 UWB 수신기에서는 매우 중요한 과정이다. 이를 해결하기 위하여 그림 8의 ②와 같이 상관기를 이용하여 UWB 신호가 일단 검출되면 template 신호(임의의 PN 코드)를 발생시켜 검출된 UWB 신호와의 상관관계를 산출하도록 한다. 이때 발생하는 template 신호는 송신 시 발생시킨 Time Hopping 코드에 사용된 레지스터와 동일한 길이를 가진 레지스터를 천이 시켜 가면서 발생시킨다.

#### 3. 데이터 동기

수신기가 검파 과정과 송신 PN Hopping 코드를 인지하게 되면 수신기는 template 신호를 생성할 수 있다. 수신기가 다른 링크를 사용하여 보내는 데이터의 시작 시점과 끝 시점을 알아내기 위한 동기화 방법이 사용된다. 수신기는 이미 정해진 상태를 초기화시키며, 따라서 PN 코드가 올바르게 인식하는 한 수신기는 시프트 레지스터의 상태를 통하여 데이터의 시작 시간을 알 수 있다. 데이터 동기 시뮬레이션 구성은 그림8의 ③과 같다.[5]

### IV. 시뮬레이션 결과 및 토의

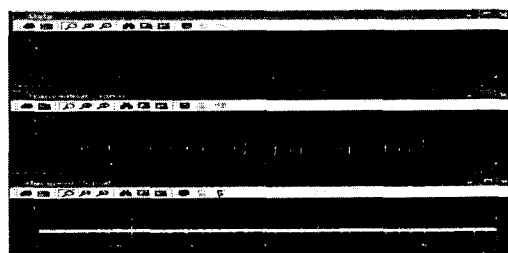


그림 9 UWB 신호 검파를 위한 송수신 파형

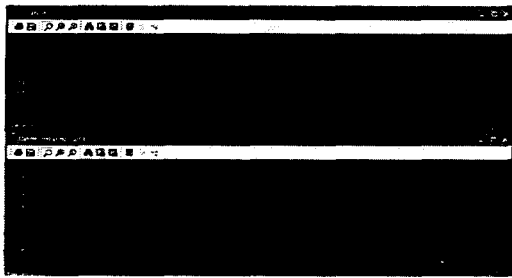


그림 10 PN 동기화 되지 않은 UWB 시스템 복조

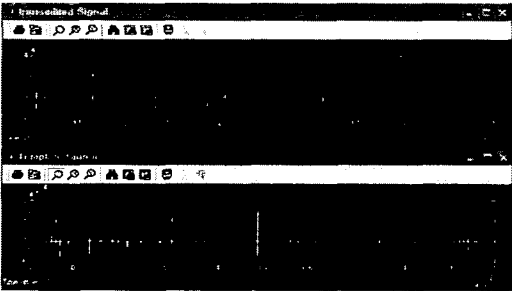


그림 11 PN 코드 동기

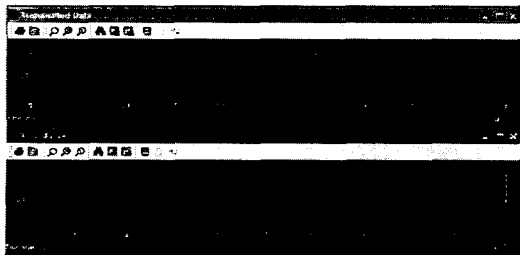


그림 12 데이터 동기

그림 8의 ① 구성에 따른 결과 시뮬레이션을 통해 UWB 신호가 검출된 시간은 4.558ns이며, 송신 데이터와 UWB 송신 신호 및 수신신호 파형은 그림 9와 같다. 그림 10은 UWB 신호에 대하여 PN 동기화 되지 않은 송신 심볼에 대한 데이터 복조결과이다. 수신단에서 샘플 타임  $T_s$ 는 한 심볼을 복조하기 위해 100ns로 설정하였다. 이와같은 경우 송신 PN코드와의 동기 부분에 대한 고려를 하지 않았으므로 PN 코드가 일치하지 않고, 지연성분 때문에 데이터 오류를 발생한다. 따라서 검파 시간을 이용하고 상태 레지스터의 천이 과정을 통한 PN 코드 동기화 시행되었고 그 결과는 그림11과 같다. 송신부와 일치한 PN 코드를 발생하게 되면 송신부에서 데이터를 전송하기 시작하고 동일한 송수신 PN 코드가 실행되므로 데이터 복조가 가능해진다. 그림12는 UWB 송신 신호와 복조된 UWB 신호의 파형을 나타낸다.

### V. 결론

본 논문에서는 UWB 통신을 위한 기본 펄스에 대한 특성을 알아보고, 모노펄스의 특성을 SNR에 따른 BER로서 그 성능을 평가하였다. 가우시안을 2차 미분한 scholtz 파형 성능이 가장 우수하였으며 따라서 변조 방식의 적용에 대한 기존의 통신 장치에 대한 간섭 영향을 분석하는데 이용하였다. QPSK 신호 간섭 정도는 변조방법 뿐만 아니라 Time

Hopping을 이용한 주기성 제거도 매우 큰 효과를 얻을 수 있음을 알았다.

PN 코드가 동기되지 않은 UWB 통신 시스템을 구성하여 복조 과정을 구현하였으나, 데이터 오류가 발생하여 송신 신호를 복원할 수 없었다. 따라서 완벽한 수신 시스템을 구성하기 위하여 송신부와 동일한 PN 코드 발생기를 사용하여 PN 동기화 이루어진 시간호핑 PPM UWB 통신 시스템을 설계하여 수신신호를 복조하였다.

본 논문에는 다중 사용자에 대한 논의가 제외 되었으나 사용자 한 명에 대해서 구현된 복조 기술 및 방법을 확장하여 다중사용자 검출(MUD)을 위한 UWB 수신 방법에 대한 다양한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] LUA HONG LIM DARYL, UWB Application in Remote Sensors, 2002
- [2] 이형수, 김재명, UWB 무선기술 및 규제동향, 한국통신학회지, 13-21, 2003.2
- [3] 송형규,유영환,박현지, UWB 변복조 기술, 한국통신학회지, 53-67, 2003.2
- [4] R.A.scholtz, "Multiple Access with Time-Hopping Impulse Modulation", Proc. MILCOM, Oct. 11-14 1993
- [5] Fernando Ramirez-Mireles, Signal Design for Ultra Wideband PPM Communication