

다중 사용자 통신을 위한 UWB 통신 시스템의 성능평가

전계훈* · 이민혁* · 변건식*

*동아대학교

Performance Analysis of UWB Communication System for Multiuser Communication

je-hun Jeon* · min-hyouck · kun-sik Byon*

*Donga University

E-mail: choen101@hanmail.net

요 약

UWB 통신 기술은 초 광대역 특성 때문에 높은 전송 속도와 저 전력 통신이 가능하다는 이유로 Bluetooth 이후에 최근에 매우 각광 받는 통신 응용분야이다. 따라서, 다양한 UWB 통신 기술의 적용을 위하여 UWB 통신의 기본이 되는 모노펄스의 특성을 분석하고 성능을 시뮬레이션하였다. 그리고, UWB 다중사용자 통신을 위한 Time-Hopping 기법에 대해 소개하고 다중사용자 통신을 위한 MAI 제거를 위한 여러 가지 알고리즘을 이용해서 시뮬레이션하였다.

ABSTRACT

UWB communication applications is a recent innovation due to high transmission rate and low power emission. There, we analyzed monopulse's characteristics and simulated the performance for various UWB communication applications. we introduced Time-Hopping method and simulated for MAI removal in multi-user communication.

키워드

모노펄스, Time-Hopping, 역상관기, MMSE, MAI

1. 서 론

UWB 통신은 ns 정도의 매우 작은 펄스 폭을 가지는 모노펄스를 사용한다. 따라서 직류에서 수 GHz까지 매우 넓게 에너지 대역을 차지하고 있다. 전통적인 시스템에서 광대역이란 고속 데이터 전송을 의미한다. 그러나 UWB 기술에서의 신호는 데이터 변조가 없을 때에도 매우 큰 대역폭을 가진다. 따라서 이러한 특성은 간섭에 강하게 되고 폭이 짧은 모노 펄스를 사용하기 때문에 경로 지연이 ns 정도이므로 다중로에 강하게 된다. 또한 대역폭이 크기 때문에 다중 접속에 의한 충돌을 피하기 위해 각 사용자에게 별도의 시간 호핑 패턴을 할당하여 다중로 환경에서도 다중 접속에 적합하게 된다. UWB 통신의 또 다른 장점은 반송파를 사용하지 않는다는 것이다. 따라서 저 비용의 회로를 구

성할 수 있게 된다. [1][2]

본 논문에서는 UWB 통신의 기본이 되는 모노 펄스의 특징에 대해서 알아보고 다중 사용자 통신을 위한 Time-Hopping 기법에 대해 언급하고 여러 가지 알고리즘을 이용해서 다중 사용자 통신에 따른 MAI 제거를 위해 시뮬레이션하였다.

II. 이론적 배경

1. 모노펄스의 종류와 특징

UWB 통신에서 ns 단위의 좁은 펄스폭을 가지는 모노 펄스의 특징은 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 부분이다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 메트랩 시뮬링크의 S-Function을 이용하여 펄스를 생성해서 각 시뮬레이션에 이용하였다.

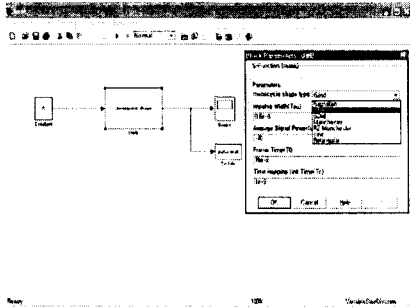


그림 1 S-function을 이용한 모노펄스 생성

본 논문에서 분석한 모노 펄스의 종류와 특징은 표 1과 같으며 E_p 는 펄스 에너지(J), τ 는 임펄스 폭, T_c 는 시간 천이(s)를 나타낸다. E_p 는 1로 정규화 했으며, 펄스폭은 0.6ns로 동일하였다.

표 1 모노펄스의 종류와 주파수 특성

| 펄스 모양 | 주파수 범위 | 대역폭 |
|---|----------------|----------|
| 가우시언 | 0~1.675GHz | 1.675GHz |
| $u(t) = \sqrt{E_p} * \frac{2.1245}{\sqrt{\tau}} * e^{-32(\frac{t-T_c}{\tau})^2}$ | | |
| 가우시언 1차 미분 | 1.075~3.425GHz | 2.35GHz |
| $u(t) = \sqrt{E_p} * \frac{24.0360}{\sqrt{\tau}} * (\frac{t-T_c}{\tau}) * e^{-32(\frac{t-T_c}{\tau})^2}$ | | |
| 가우시언 2차 미분 (Scholtz 펄스) | 1.775~3.975GHz | 2.2GHz |
| $u(t) = \sqrt{E_p} * \sqrt{\frac{8}{3\tau}} * (1 - 4\pi(\frac{t-T_c}{\tau})^2) * e^{-2\pi(\frac{t-T_c}{\tau})^2}$ | | |

2. 변조 기술

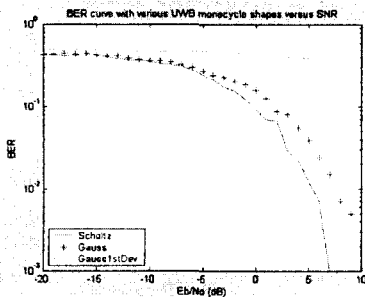


그림 2 각 모노펄스의 BER 그래프

각종 모노펄스를 이용하여 정보를 보내기 위해서는 변조 과정을 거쳐야 한다. UWB 통신에서의 변조 방법에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 PPM(Pulse Position Modulation) 방법을 이용해 각 펄스의 BER 특성을 시뮬레이션 하였다. 그 결과 그림 3과 같이 가우시언 2차 미분 펄스인 Scholtz 파형이 가장 우수한 성능을 나타냈다.[3]

3. 시간 호핑

다중 접속에 의한 충돌을 피하기 위해 시간 호핑 부호라는 별도의 펄스 천이 패턴 $c_j^{(k)}$ 을 할당하게 된다. 이러한 호핑 부호 $c_j^{(k)}$ 는 $c_{j+N_s}^{(k)} = c_j^{(k)}$ 와 같이 주기 N_s 를 가진 주기적 의사 랜덤 부호이다. 따라서 이러한 호핑 부호에 의해 시간 호핑을 통해서 다중 접속이 가능하게 되고 다른 협대역 통신에 간섭을 줄이게 된다. 그림3은 주기적인 펄스열로 인한 라인 스펙트럼 현상을 보인다. 이러한 현상은 다른 협대역 통신에 간섭을 일으키므로 그림4와 같이 Time-Hopping으로 인하여 이러한 현상을 줄일 수 있다. [4][5]

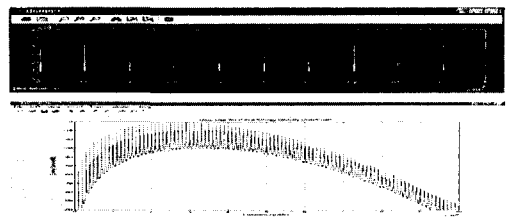


그림 3 주기적인 펄스열과 스펙트럼

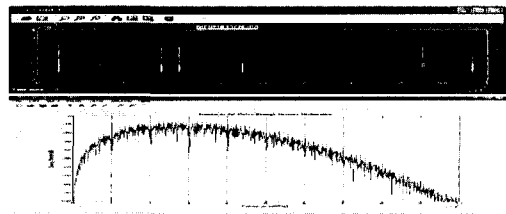


그림 4 Time-Hopping 된 펄스열과 스펙트럼

4. 시스템 모델

UWB 통신에서 모든 사용자간의 파형은 가우시언의 형태를 가지므로 직교가 아니다. 따라서 서로 간섭을 일으키게 되고 사용자 수가 증가하고 처리 이득이 감소할 때 이러한 MAI는 많은 간섭원이 될 것이다.

K명의 사용자를 가진 UWB 통신 시스템에서 수신 신호는 식(1) 과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K s^{(k)}(t) + n(t) \quad (1)$$

이 신호는 K명의 사용자 신호와 평균이 0인 백색가우시언 잡음의 합으로 구성된다. 사용자 $k \in \{1, \dots, K\}$ 의 송신 신호는 식 (2) 와 같다.

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{E_s^{(k)}} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{m=1}^M b_n^{(k,m)} a^{(m)}(t - nT_s - T_n^{(k)}) \quad (2)$$

(2)

여기서 $E^{(k)}$ 는 사용자 k의 심볼 에너지이다. N_s 는 각 사용자가 송신한 심볼 수이다. 심볼당 전송 비트 수는 $\log_2 M$ 이다. $a^{(m)}(t)$ 는 수신된 파형이며, $T_s^{(k)}$ 는 사용자 k에 대한 호핑 계열이다. 식(2)를 식(1)에 대입하여 벡터로 간략히 표현하면 식(3)과 같다.

$$y = RAb + n \quad (3)$$

여기서 R 은 정규화 된 상관행렬이며 각 사용자 간의 파형이 직교가 아니기 때문에, 펄스 간 상관 계수에 의해 구해진다.

$$y = [y_1, \dots, y_K]^T \quad y = [y_1, \dots, y_K]^T$$

$$b = [b_1, \dots, b_K]^T \quad A = \text{diag}[A_1, \dots, A_K]$$

n 은 평균이 0인 가우시언 랜덤 벡터이다. [6]

5. UWB에서의 다중 사용자 검출

(1) 역상관 검출기

본 논문에서 사용하고 있는 역상관 검출기는 정합필터 출력에 R^{-1} 을 곱한 형태이다. 여기서 R^{-1} 은 다중 사용자 상호 상관 행렬의 역행렬이다. 역상관 검출기의 출력은 식(4)과 같다.

$$\hat{b} = \text{sgn}(R^{-1}(RAb + n)) \quad (4)$$

$$= \text{sgn}(Ab + R^{-1}n)$$

식(4)와 같이 역상관 검출기는 MAI를 제거 할 수 있다. 하지만 위 식의 $R^{-1}n$ 과 같이 잡음이 증폭되는 단점을 가지고 있다.

(2) MMSE 검출기

MMSE 검출기는 역상관 검출기의 잡음이 증폭되는 단점을 개선한 검출기이다. 검출기 출력의 자승 평균 에러가 최소가 되도록 최적의 무게값을 구하면 식 (5)과 같다.

$$L_{MMSE} = R + \left(\frac{N_0}{2}\right) \cdot A^{-2})^{-1} \quad (5)$$

MMSE 검출기는 역상관기의 잡음이 증폭되는 단점은 개선되지만 수신 신호 대 잡음 비를 추정해야 하고, 역상관 검출기와 마찬가지로 복잡한 역행렬을 계산해야하는 단점이 있다. [7]

III. 시뮬레이션 및 결과

앞서 설명한 검출기들을 각 시뮬레이션에 이용하였다.

그림 5는 사용자 수가 2명이며 펄스폭은 0.6ns로 했으며, 각 사용자에 대한 펄스의 수를 500개로 했다. 그리고 Time-Hopping으로 인한 펄스 간 지연을 대변하기 위한 펄스 간 지연을 1ns 정도로 했을 때 각 검출기의 결과이다. 펄스 간 지연을 1ns 정도로 충분히 했을 경우 즉 MAI가 크지 않을 경우 정합필터, 역상관기, MMSE 가 거의 유사한 결과가 나타난다.

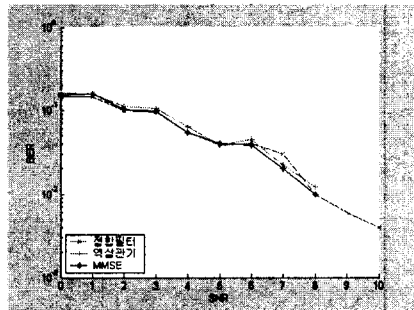


그림 5 정합필터, 역상관기, MMSE 성능비교

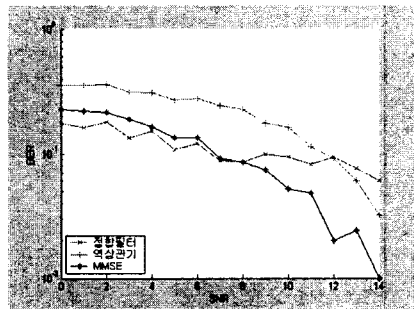


그림 6 펄스 간 지연이 0.8ns 일때

그림 6은 위 조건과 동일하고 펄스 간 지연을 0.8ns 정도로 했을 때 정합필터, 역상관기, MMSE의 결과이다. SNR이 낮을 땐 정합필터, SNR이 클 땐 MMSE가 가장 우수한 성능을 보인다.

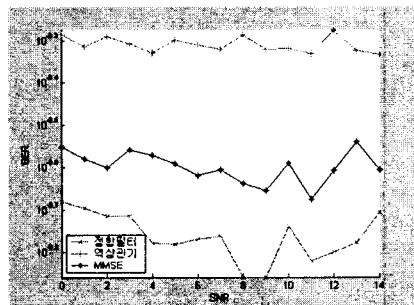


그림 7 펄스 간 지연이 0.7 ns 일때

그림 7도 동일한 조건이며 펄스 간 지연을 0.7ns로 했을 때의 시뮬레이션 결과이다. 펄스 간 지연이 0.7이하의 간격을 가질 땐 MAI 제거효과를 거의 보지 못하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 사용자 수가 10명이며, 펄스 간 지연을 1ns 정도로 했을 때 시뮬레이션 결과이다.

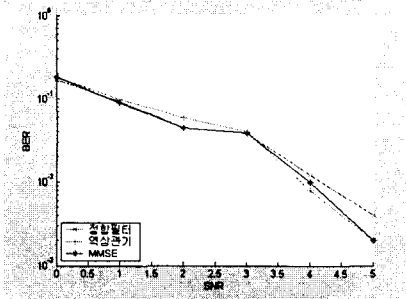


그림 8 사용자 수가 10명일 경우

그림 9는 펄스 간 지연을 0.8ns 정도로 했을 때 시뮬레이션 결과이다. SNR이 작을 땐 정합필터, SNR이 클 땐 MMSE가 우수한 성능을 나타낸다.

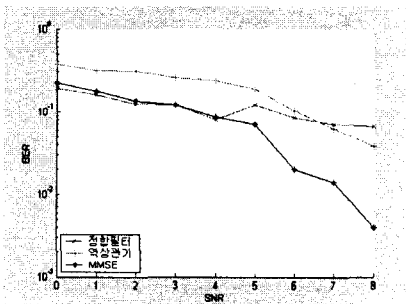


그림 9 펄스 간 지연 0.8ns

그림 10은 펄스 간 지연을 0.7ns 정도로 했을 때 시뮬레이션 결과이다. MAI 제거 효과를 거의 보지 못하는 것을 알 수 있다.

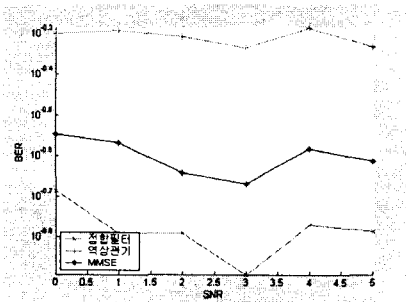


그림 10 펄스 간 지연 0.7ns

IV. 결론

본 논문에서는 UWB 통신을 위한 기본 펄스에 대한 특성을 알아보고, 모노펄스의 특성을 SNR에 따른 BER로서 성능을 평가하였다. 가우시언 2차 미분 펄스인 Scholtz 파형이 가장 우수한 성능을 나타냈으며, 타 통신과의 간섭을 피하기 위해서 적절한 펄스 및 펄스 폭을 선택하여 사용하는 것이 필요하겠다.

1ns 이상의 펄스 간격을 가질 경우 사용자 수에 상관없이 정합필터, 역상관기, MMSE가 동일한 성능을 나타내고, 0.6ns 이하의 펄스 간격을 가질 경우엔 MAI 개선 효과를 거의 보지 못한다. 따라서, 다중 접속 및 다른 협 대역 통신에 간섭을 줄이기 위해 Time-Hopping 시 MAI에 대한 시스템의 열하 없이 시스템 구성을 위해서는 펄스 간 간격을 1ns 이상 확보할 필요가 있겠다.

향후, OFDM과의 연계 문제라던지. UWB 통신을 이용한 무선 심전도 신호를 검사하는 간단한 시스템 구현에 관심을 가질 계획이다.

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] Arashk Mahjoubi Amine, Ultra wide band Time-Hopping Modulation for multiple users, 2003
- [6] Yong C. Yoon and Ryufi Kohno Optimum Multi-User Detection in Ultra-Wideband Multiple-Access Communication Systems, 2003
- [7] Frederic Sarrat, Multiuser detection techniques for Code-Division Multiple Access, Dec 8, 2002.