
S-Function Builder를 이용한 UWB 시스템의 성능해석

이성신* · 변건식*

Performance Analysis of UWB System using S-Function Builder

Sung-Sin Lee* · Kun-Sik Byon*

요 약

UWB 통신 기술은 초광대역 특성 때문에 높은 전송 속도와 저전력 통신이 가능하여 의료장비에 응용이 가능하다. 특히 근거리 무선 통신 기술로 급부상하고 있는 UWB 통신 기술의 응용으로 의료 측정기인 ECG 센서 시스템을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 유선 심전도 센서를 무선 링크로 대체하는 것으로, UWB에 사용가능한 각종 펄스의 스펙트럼 특성을 FCC Spectral Mask와 FCC indoor limit에 비교하였다. 또한, 적용하고자 하는 시스템 환경에서 발생할 수 있는 UWB 신호 간섭의 영향에 따른 UWB 송수신 시스템을 근거리 송수 거리에 따른 시뮬레이션을 수행하였으며, Rake 수신기를 사용하면 약 10m까지 신뢰성을 가지는 통신을 할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

The application of UWB not only complies with the requirements of remote sensors system(ECG), it also contributes to the effectiveness of the implementations through its unique qualities such as ultra low transmission power - an important factor when dealing with biomedical equipment. In this paper, the aim is to replace the wired ECG sensors with a wireless link and design wireless UWB communication system. The various pulse shapes are presented that satisfies the FCC spectral mask and FCC part 15 rule. It is shown that UWB can be a high rate transmission over short ranges using Rake receiver, with the capability for reliably transmitting 100Mbps over distance at about 10 meters.

키워드

UWB, 무선 심전도, ECG, Rake Receiver

1. 서 론

무선 통신이 시작된 이래 무선 기술은 비약적으로 발전되어 왔다. 특히 과거 20년 동안 무선 통신은 지속적으로 발전 응용되어 왔다[1]. 디지털 기술의 발달은 더욱 통신을 무선으로 하는데 기여해 왔으며, 이동전화에서 위성 링크까지 모든 것이 무선이 되는 세상이 되었다. 이 중에서 주목받고 있는 무선 통신 중 하나는 의료 측정기인 ECG 센서 시스템이다[2]. 환자가 움직일 때 전통적인 센서 시스템은 ECG에 붙어 있는

전기선 길이에 제약을 받는다. 무선 센서를 사용하여 전통적인 센서보다 성능이 우수하게 나타난다면 환자와 의료진은 이동을 하면서 진료를 할 수 있을 것이다. 더욱이 무선 센서의 능력은 보통 링크 품질에 의해 구해진다. ECG와 같은 무선 센서 시스템을 개발할 때, 무선 시스템이 다른 통신에 얼마나 방해줄 주는가는 중요한 고려 사항중 하나이다. 본 논문에서는 무선 UWB 통신 시스템을 설계하였고 다중로 시스템 환경에서 발생할 수 있는 UWB 신호를 송수신 거리에 따라 시뮬레이션 하였다. 특히, 다중로 환경에서 Rake

수신기를 사용하면 성능이 개선됨을 확인하였다.

II. S-Function Builder를 이용한 시스템 설계

1. 시스템 구성도

본 논문에서 사용한 시스템 구성도는 그림 1과 같다.

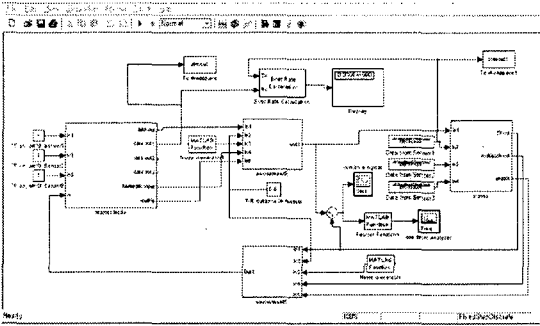


그림 1. 시스템 구성도
Fig 1. System Configuration.

1) 송신기

기본 송신기는 펄스 발생기를 생성함으로써 시작한다. 이 목적을 달성하기 위해 customized 블록이 생성된다. 펄스 발생기 블록은 모노 펄스를 만드는 역할을 하며, 또한 안테나 역할도 한다. 모노 펄스의 절반은 가우시언 함수와 비슷하고, 가우시언 분포 공식은 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (1)$$

이 분포는 모노 펄스 파형을 나타내는 데이터 배열을 만들기 위해 사용된다. 블록은 펄스폭이 0.2ns의 출력(즉 중심 주파수는 5GHz) 모노 펄스로 설계된다. 이는 동작 주파수를 위한 FCC 규칙을 따른다[4]. 따라서 Bi-Phase Data 변조를 사용함으로써, 2진 부호화된 데이터는 서로 반대인 극성을 가지게 만들 수 있으며, 각각은 1과 0을 나타낸다[5]. 이 그림에서 생성된 0을 나타내는 모노 펄스 출력은 그림 2와 같다.

2) 수신기

수신기 내에는 심벌 인식 장치와 펄스상관기의 에뮬레이션이 있다. 모노 펄스와 정합하기 위한 템플릿도 상관기내에서 만들어지며, 기본적인 구성도는 그림 3과 같다.

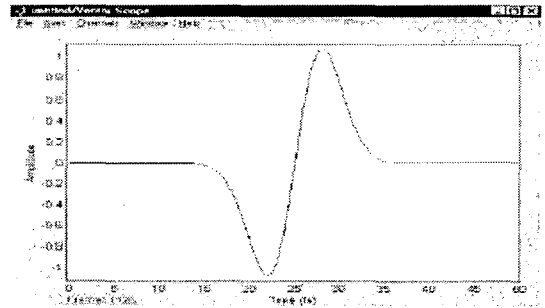


그림 2. S-Function 블록에 의해 생성된 단일 모노 펄스

Fig 2. Single monopulse generated by an S-function Block.

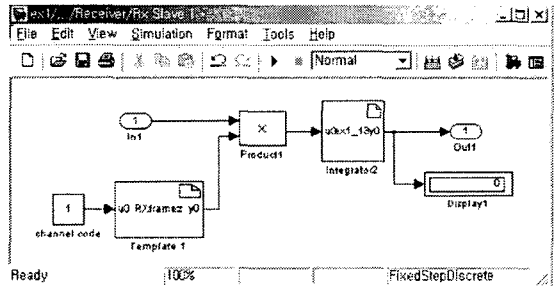


그림 3. 수신기
Fig 3. Receiver

3) 다중 접속

기본 수신기가 끝난 후 다음 단계에서 다중 사용자가 고려된다. 이 송신기는 펄스 발생기 블록으로 3개의 데이터를 동시에 보내는 설계이다. 송신기에서 발생된 신호는 그림 4와 같으며 채널 계열의 부호 번호를 가진다.

이러한 블록을 사용하는 주된 이유는 블록의 샘플 시간을 바꿈으로써 펄스를 제어하는 것이다. 수신단에서 template 생성은 송신 신호의 채널 계열에 동조

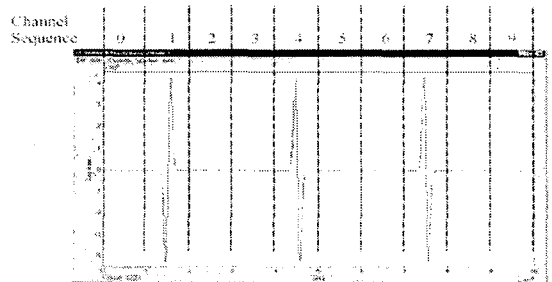


그림 4. 송신기에서 발생된 신호
Fig 4. signal generated from the Transmitter.

된다. 따라서 채널 부호 계열은 수신기가 알 필요가 있다.

4) 자유 공간 환경

이 단은 UWB 신호가 자유 공간을 전파하는 실제 환경을 나타내는 것이다.

첫째 고려해야 할 것은 송수신기 사이의 거리(T-R 거리)의 변화에 의한 경로 손실이다. 이 해석에서는 식 (2)와 같은 대수-거리 경로 손실 모델[6]을 사용하였다.

$$PL(d) \propto (d/d_0)^2 \tag{2}$$

여기서 d_0 는 경로 손실 $PL(d_0) = 3dB$, 경로 손실 exponent $n=2.4$, 거리 1m로 가정하였다. n 은 실내 UWB 채널을 위해 가정하였다.

두 번째 고려해야 할 사항은 외부 간섭(I_n) 잡음 floor이며, UWB 수신기의 안테나 설계에 기반한 추정치가 고려되었다[7]. front end 수신안테나가 증폭기로 대역 제한 손실을 보상한다면, $I_n = -60dBm$ 은 안정한 SNR을 이루기 위해 실내 환경에서 평균 잡음 floor로 취할 수 있다.

또 다른 고려 사항은 다중로 효과이다. 다중로 성분은 2개를 추가하였으며 첫 번째 다중로는 원 신호의 75%, 200ps의 지연을 가지며, 두 번째 다중로는 원 신호의 35%, 600ps의 지연을 가도록 하였으며, 다중로 성분을 추가한 수신단 신호는 그림 5와 같다.

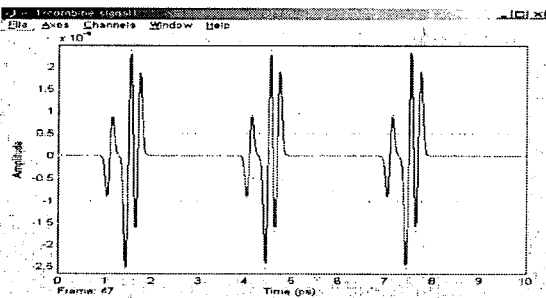


그림 5. 다중로 성분이 존재하는 수신 신호
Fig 5. Received signal with multipath components.

5) 원격 센서에서의 트랜시버 설계

하나의 마스터, 3개의 슬레이브 노드를 가진 시스템을 만든다. 설계는 슬레이브 노드 송신기로 시작한다. 여기서 정보는 마스터 노드의 수신 장치로 보내지며, 모델은 그림 6과 같다.

슬레이브 노드를 제어하기 위해 3개의 채널이 할당되며, 아래 표 1과 같다. 슬레이브 노드가 제어 명령을

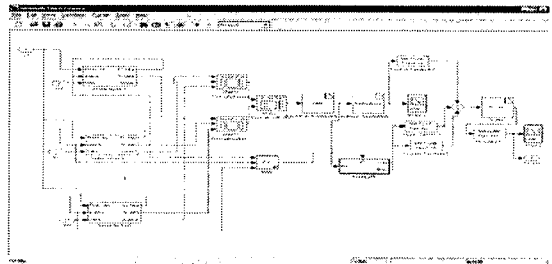


그림 6. 슬레이브 노드
Fig 6. Slave node.

수신하기 위해 각 노드에 있는 수신기는 할당된 채널 부호에 따라 신호를 동조한다.

표 1 채널 할당
Table 1. The Allocation of channel

	송신측	수신측
Slave Node 1 채널 할당	1	2
Slave Node 2 채널 할당	4	5
Slave Node 3 채널 할당	7	8

6) 레이크 수신기를 사용한 신호 추출

하나의 템플릿 수신기를 사용하여 모델 설계를 끝낸 후, 다중로 성분이 전송된 모노 펄스를 왜곡할 때 신호의 이득을 개선하는 방법으로 레이크 수신기를 사용한다. 레이크 수신기 방법은 등 이득 합성 다이버시티 기술에 기반하여 신호를 포착하기 위해 사용된다.

등 이득 합성 다이버시티 기술에서 각 상관기가 가지는 등 이득을 제공하며 이는 다시 더 큰 출력을 제공하기 위해 혼합된다. 이는 2개의 추가 템플릿이다. 결과적으로 그림 7과 같이 템플릿 1은 템플릿 0(원래의 템플릿)과 200ps 지연을 저장하고, 템플

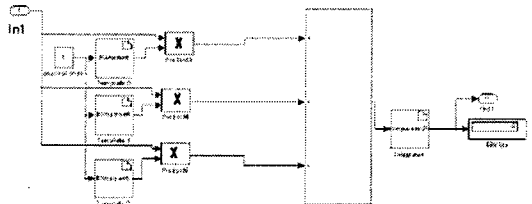


그림 7. 다중로 상관기(Rake 수신기)를 가진 수신 장치
Fig 7. A receiving unit with Multiple correlators (Rake receiver).

리트 2는 템플릿 0(원래의 템플릿)과 600ps 지연을 저장한다.

III. UWB 시스템의 규제

1. FCC 규제

UWB 기술은 극히 넓은 대역폭 신호를 방출한다. 저 전력, 광대역이기 때문에 UWB와 같은 주파수로 동작하는 기존의 무선시스템에 간섭을 주기 때문에 규제가 필요하다. 이것이 FCC가 UWB의 상업적 이용을 허가하지 않는 이유이다. 과거에는 군 및 공용 연구소만이 실제 응용에 UWB를 사용할 수 있었다[3]. 의료, 통신, 계측 환경에서 UWB가 사용될 때 3.1~10.6GHz에서 동작해야 한다. 특히 의료분야에서 peer to peer 동작으로 휴대용 장치로 구성되어, 실내에서만 동작하도록 설계되는 시스템은 주파수와 전력제한 면에서 part 15 위원회 규칙에 따라야 한다[4]. FCC part 15 위원회에 의하면, 최대방사 전력은 -41.3dBm이다.

2. 모노 펄스 스펙트럼

본 논문에서 사용한 모노펄스의 스펙트럼은 그림 8과 같다.

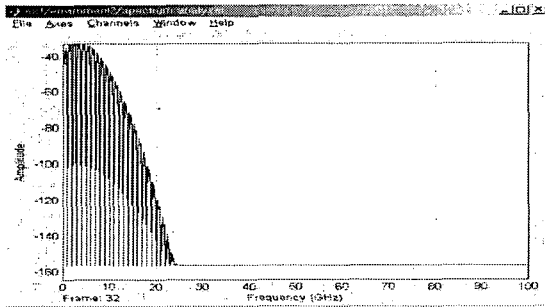


그림 8. 모노 펄스의 스펙트럼
Fig 8. The Spectrum of monopulse.

3. FCC Indoor Limit와 Spectral Mask

식 (1)에서 사용한 일반적인 가우시안 펄스의 재귀적 형태로 n 차 도함수를 다음과 같이 나타낼 수 있다 [8].

$$x^n(t) = -\frac{n-1}{\sigma^2}x^{(n-2)}(t) - \frac{t}{\sigma^2}x^{(n-1)}(t) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 여러 도함수를 유도하여 시뮬레이션한 결과 5차 도함수가 FCC가 실내 시스템에 허가한 방사 전력과 동작 대역폭을 만족하는 것을 확인하

였다. 그림 9는 5차 도함수에서의 UWB 신호를, 그림 10은 FCC Indoor Limit, Part 15 위원회 Limit와 1, 2, 5차 펄스의 스펙트럼을 보여준다.

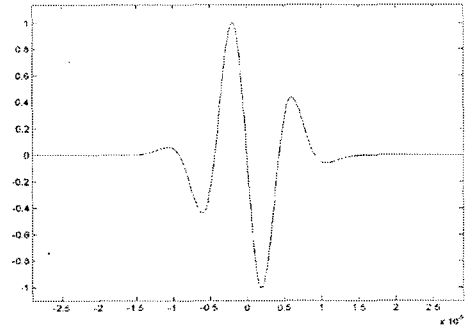


그림 9. 가우시안 펄스의 5차 도함수의 펄스 형태
Fig 9. The pulse shape for the fifth derivative of the Gaussian pulse.

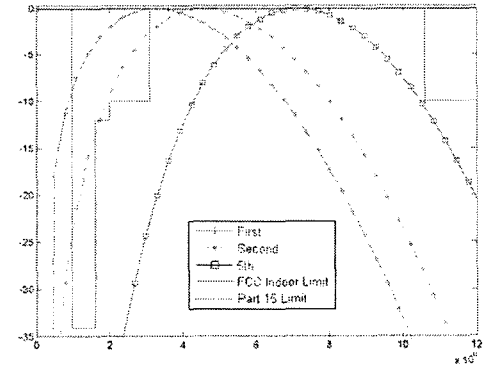


그림 10. 실내 UWB 시스템에 대한 가우시안 펄스의 1, 2, 5차 도함수의 전력 스펙트럼 밀도
Fig 10. PSD of the 1,2,5-order derivatives of the Gaussian pulse for UWB indoor systems.

IV. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 1

- 잡음 floor : $I_u = -60dBm$
- 최대 방사 전력 : $-42dBm$
- 다중로 성분 2개 존재(원신호의 75, 35% 신호)
- 대수-거리 경로 손실 모델을 고려. 경로 손실은 1m 거리(d_0)에서 3dB로 가정
- 데이터 율 100Mbps

표 2와 같이 시뮬레이션 결과는 T-R 거리 3m와

표 2. $I_u = -60\text{dBm}$, T-R 거리에 따른 BER 성능 결과
 Table 2. Simulation Results for Bit Error Performance at different T-R separation distance with Multipath components ($I_u = -60\text{dBm}$)

T-R 거리(Meter)	Bit Error Rate
1	1e-8
2	1e-8
3	1e-8
3.5	1.3e-5
3.7	7.8e-4
4	4e-3
5	6.2e-2

3.5m 사이에서 시스템 성능은 악화되기 시작함을 보여준다. 3m 이하에서의 링크는 극히 안정하며, 3.5m에서 시스템은 두드러진 에러를 보인다. 이상을 통해 다중로가 추가되면 링크성능이 약간 나빠짐을 알 수 있다.

2. 시뮬레이션 2

- 잡음 floor : $I_u = -60\text{dBm}$
- 최대 방사 전력 : -42dBm
- 다중로 성분 2개 존재(원신호의 75, 35% 신호)
- 대수-거리 경로 손실 모델을 고려. 경로 손실은 1m 거리(d_0)에서 3dB로 가정
- 데이터율 100Mbps
- Rake 수신기 사용

표 3. $I_u = -60\text{dBm}$, Rake 수신기를 이용한 T-R 거리에 따른 BER 성능 결과

Table 3. Simulation Results using Rake receiver for Bit Error Performance at different T-R separation distance with Multipath components ($I_u = -60\text{dBm}$)

T-R 거리(Meter)	Bit Error Rate
9	1e-8
10	1e-8
11	7.01e-6
12	1.03e-3
13	6.04e-3
14	1.92e-2
15	4.12e-2

표 3과 같이 Rake 수신기를 사용하면 최대전송 거리가 약 10m가 됨을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서의 시뮬레이션은 UWB 시스템의 비주 얼적이고 해석적인 면을 제공하였으며, 실제 과정은 FCC의 제약과 규제에 따라 수행하였다. 시뮬레이션 결과와 같이 다중로 성분이 존재할 때 Rake 수신기를 사용하면 실제로 시스템 성능이 크게 개선됨을 확인 하였다. 시뮬레이션 결과를 ECG센서 요구사항에 비교할 때 UWB 무선 링크 설계는 무선 ECG 센서를 개발하는데 적절하며 믿을 수 있다고 할 수 있다. 이는 ECG 측정 요구사항인 샘플링 주파수 60~1KHz, 정 격 샘플링 율 300~500sps 등의 스펙이 센서 3개의 무선 ECG 시스템에 UWB를 구현하면 송수신기 사이의 거리 제한에도 불구하고 시스템 성능에서 쉽게 구현 할 수 있음을 의미한다. 또한 샘플 데이터만큼의 비트 반복이 있으면 비슷한 T-R 거리에서 더 좋은 성능을 얻을 수 있다.

향후, 원격센서를 사용할 때 사용자 위치를 검출해서 그 위치로 정보를 전송하는 응용과 FCC 규제에서와 같이 모노 펄스 대신에 5차 도함수 펄스의 시뮬레이션도 검토해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communication: Principles & Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.
- [2] E. M. Staderini, "UWB Radars in Medicine", *IEEE AESS Systems Magazine*, pp.13-18, January 2002.
- [3] K. Siwiak, P. Withington and S. Phelan, "Ultra-Wide Band Radio: The Emergence of an Important New Technology", *IEEE*, pp.1169-1172, August 2001.
- [4] "New Public safety Application and Broadband Internet Access Among uses Envisioned by FCC Authorization of Ultra-Wide Band Technology", *Federal Communications Commission*, 02-48, February 14, 2002.
- [5] X. Huang and Y. L., "Generating Near-White Ultra-Wideband Signals with Period Extended PN Sequences", *IEEE*, pp.1184-1188, VTC 2001.
- [6] D. Cassioli, M.Z. Win and A. F. Molisch, "A Statistical Model for the UWB Indoor Channel", *IEEE*, pp.1159-1163, August 2001.
- [7] R. A. Scholtz, R. Weaver, E. Homier, J. Lee, P. Hilmes, A. Taha and R. Wilson, "UWB Radio Deployment Challenges", *IEEE*, pp.620-625,

2000.

[8] H. Sheng, P. Orlik, A. M. Haimovich, L. J. Cimini and J. Zhang, "On the spectral and

Power Requirements for Ultra-Wideband Transmission" IEEE, pp.738-742, March 2003.

저자소개

이성신(Sung-Sin Lee)



'91년 2월 : 동의대학교 전자공학과 (공학사)

'93년 2월 : 동아대학교 전자공학과 (공학석사)

'93년 9월 ~ '02년 1월 : 대양 전기공업(주) 부설 기술연구소 책임연구원

'02년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : UWB, CDMA, OFDM

변건식(Kun-Sik Byon)



'72년 2월 한국항공대학교 항공 전자공학과 졸업(공학사)

'80년 2월 동아대학교 전자공학과 (공학석사)

'87년 2월 영남대학교 전자공학과 (공학박사)

1989년 9월 ~ 1990년 8월 국립요코하마대학교 전자정보공학과 객원교수

1980년 2월 ~ 현재 동아대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : CDMA, OFDM, SDR, UWB