

# TDMG(Time Delay Multiple Gaussian) 펄스 발생기를 이용한 UWB 송수신기 모델링

고 영 은, 박 진 환, 배 백 근, 최 민 성, 방 성 일  
단국대학교 전자컴퓨터공학과  
전화 : 02-709-2827 / 핸드폰 : 017-296-6475

## UWB Transceiver Modeling Using the TDMG Pulse Generator

Young-Eun Ko, Jin-Hwan Park, Bag-Geun Bae, Min-Sung Choi, Sung-Il Bang  
Electronics Engineering, Dankook University  
E-mail : ye0420@korea.com

### Abstract

In this paper analyzed characteristics of the existing pulse of the UWB system, modeled TDMG pulse generator without attenuation of pulse width. Then we designed UWB transceiver which load TDMG pulse generator. Result of Simulation, it had high data rate and low BER. As well as, satisfying the spectrum Mask recommended by the FCC

### I. 서 론

무선통신 기술의 급성장에 따라 멀티미디어와 같은 다량의 데이터를 고속으로 전송하는 서비스의 요구가 증대되어 radar 분야와 hand-held radio와 같은 간단한 무선통신기기 등에 응용되던 UWB 무선 기술에 대한 연구, 개발이 활발히 진행되고 있다. UWB 시스템은 초광대역에서 고속으로 데이터를 전송하는 기술로써 초고속 무선 인터페이스를 사용하는 WLAN이나 WPAN과 같은 근거리 광대역 통신에 응용되고 있다 [1]. 현재 IEEE802.15 Working Group에서는 WPAN의 한 가지 방식으로 표준화하는 작업이 진행 중이며, 2004년 4월 말 하나의 표준화 단체가 결성되었다.

본 논문에서는 UWB 시스템 송수신기 구조를 분석하고, 단일밴드 UWB 시스템에서 기존에 제안하였던 TDMG(Time Delay Multiple Gaussian) 펄스 발생기 적용의 적합성을 증명하기 위해 하여 UWB 송수신기

를 모델링 하였다. 이와 같이 TDMG 펄스 발생기를 탑재한 단일밴드 UWB 송수신기를 Mathworks 사의 Simulink로 시스템화하여 모의실험을 하여 점유주파수 대역과 BER, 전송량 측정을 통해 성능 측정을 하므로써 TDMG 펄스 발생기가 UWB 시스템에 응용되기에 적합함을 확인할 수 있었으며, 실제 시스템 구현 가능성을 제시하였다.

### II. System Analysis

UWB는 점유대역폭이 500MHz 이상이고, 사용대역이 3.1GHz~10.6GHz 인 시스템이다. UWB 시스템은 타 이동통신과의 충돌 문제로 사용을 제한되었으나 주파수 부족현상에 대한 심각성이 대두되면서 2002년 2월 FCC에서 UWB 시스템의 상업적 이용을 허가하여 급속도로 연구가 진행되었다. UWB는 크게 위치추적 및 휴먼 인터페이스용 단일밴드 UWB 시스템과 Home Networking용 멀티밴드 UWB 시스템으로 구분된다. 그러나 두 방식 모두 타 이동통신 시스템에 비해 초광대역에서 임펄스를 이용하여 다량의 데이터를 고속으로 전송하므로 UWB 시스템용 임펄스의 연구에 따른 펄스 발생기 구조의 개발과 다양한 환경에 적용 가능한 UWB 송수신 시스템에 관한 연구가 필요하다. 특히 임펄스 통신을 응용한 단일밴드 UWB 시스템은 무반송파로 이산적인 데이터를 duty cycle 1%의 임펄스로 전송한다. 이와 같은 단일밴드 UWB 송수신기의 블록도는 그림 1과 같다[1][2][3].

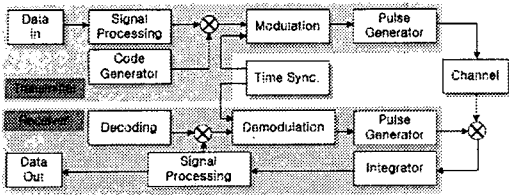


그림 1. UWB Transceiver Block Diagram

그림 1에서 보는 바와 같이 간단한 구조의 단일밴드 UWB 송수신 시스템은 임펄스를 이용하여 신호를 초광대역으로 분산하므로 주파수 변조없이 입력 데이터의 구분을 위한 부호변조를 한다. 이와 같은 시스템은 타 무선통신 시스템에 비해 높은 전송률을 지원하므로 펄스의 발생시간을 줄여서 타 이동 통신과의 간섭을 억제하고, 시스템 전송 효율을 극대화하는 목적이다[3].

UWB 시스템용으로 제안된 대표적인 임펄스는 Gaussian Monocycle 이다[4]. Gaussian Monocycle은 위상이  $\pi/4$ 만큼 지연된 Gaussian 1차 미분형이며, UWB 시스템에서 사용하는 임펄스는 대부분 Gaussian 함수를 기본으로 한다. UWB용으로는 Gaussian n차 미분형 펄스가 응용되는데, 원형에서 발생하는 낮은 주파수에서의 DC offset 성분을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 미분차수의 증가에 따라 중심주파수가 높은 주파수대역으로 이동하며, 초광대역에 걸쳐 에너지가 분포한다[2][4].

Gaussian 함수의 원형과 n차 미분형은 각각 식 (2), (3)과 같고, 펄스의 형태와 정규화된 전력 스펙트럼은 각각 그림 2와 그림 3에서 보는 바와 같다.

$$g(t) = ae^{-\pi a^2 t^2} \quad (2)$$

$$\frac{d^n g(t)}{dt^n} = -(2\pi a^2 t) \frac{d^{(n-1)} g(t)}{dt^{(n-1)}} - (n-1) \cdot (2\pi a^2) \frac{d^{(n-2)} g(t)}{dt^{(n-2)}} \quad (3)$$

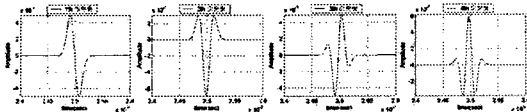


그림 2. 1~4th Derivation Pulse in Time Domain

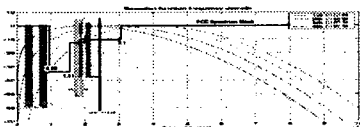


그림 3. Freq. Spectrum of 1~4th Derivation Pulse

그림 2와 3에서 보는 바와 같이 Gaussian 펄스의 미분차수가 증가하면 시간영역에서는 일정한 펄스폭을 유지하면서 굴곡이 증가되고, 주파수 영역에서는 중심

주파수가 높은 주파수 대역으로 이동하고, 낮은 주파수에서의 전력이 낮아진다[3][4].

그러나 이와 같은 1~4차의 Gaussian 미분형 펄스는 그림 3에 도시한바와 같이 FCC Spectrum Mask를 만족하지 않으므로, 타 무선통신과의 간섭을 고려하여 중심 주파수를 3GHz 이상으로 조정하고, 낮은 주파수에서의 전력을 억제하기 위해 Gaussian 펄스의 미분차수를 증가시키거나 펄스폭을 감소시키는 방법이 제안되었다. 하지만 미분 차수의 증가는 하드웨어의 복잡도와 단가를 증가시킨다. 또한, 펄스폭 감소는 ns 단위의 짧은 폭을 갖는 임펄스를 발생시키는 고도의 기술이 요구되어 구현이 어려운 단점이 있다[4].

본 논문에서는 기존에 제안한 펄스폭의 감쇄없이 중심주파수를 높은 대역으로 이동시키는 TDMG 펄스 발생기 응용의 적합성을 증명하기 위해 TDMG 펄스를 탑재한 UWB 송수신기를 모델링하였다.

### III. UWB Transceiver Model using the TDMG(Time Delay Multiple Gaussian) Pulse Generator

본 논문에서는 TDMG 펄스 발생기의 수학적 모델을 바탕으로 TDMG 펄스 발생기를 탑재한 단일밴드 UWB 송수신기의 실제 구현 가능성을 증명하기 위해 MathWorks의 Simulink를 이용하여 시스템화 하였다.

#### 1. TDMG Pulse Generator

TDMG 펄스 발생기는 UWB용 임펄스의 성능개선을 위해 펄스폭을 감소 대신에 기존의 Gaussian 펄스를 이용하여 간단한 구조로 임펄스를 발생하는 기술로써, 기본 개념은 그림 4와 같다.

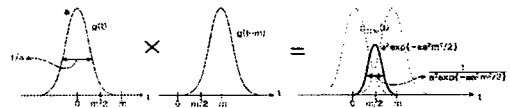


그림 4.  $g_{TDM}(t)$ (TDMG) Pulse Model

그림 4에서와 같이 동일한 Gaussian 펄스를 일정시간 지연시켜 합성함으로써 간단한 구조로 수 ns 단위로 펄스폭을 줄이는 효과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 TDMG 펄스를 2장 식 (2)의 Gaussian 함수를 이용하여 수학적으로 전개하면 다음과 같다.

$$y(t) = g(t - T - kT_f - b_n T_m) \quad (4)$$

$$y'(t) = y(t - T_d) = g(t - T - kT_f - b_n T_m - T_d) \tag{5}$$

$$z(t) = a^2 \exp\left\{-\frac{\pi a^2 T_d^2}{2}\right\} \exp\left\{-2\pi a^2 \left(t - T - kT_f - b_n T_m - \frac{T_d}{2}\right)^2\right\} \tag{6}$$

$$s(t) = \frac{d^n z(t)}{dt^n} = -4\pi a^4 \left(t - T - kT_f - b_n T_m - \frac{T_d}{2}\right) \frac{d^{(n-1)} z(t)}{dt^{(n-1)}} - (n-1)(4\pi a^2) \frac{d^{(n-2)} z(t)}{dt^{(n-2)}} \tag{7}$$

식 (4)의  $y(t)$ 는 데이터  $b_m$ , 펄스 주기  $T$ , Frame  $k$ , 한 주기내의 펄스 발생 위치  $T_f$ 의 정보를 가진 Gaussian 펄스  $g(t)$ 이다. 식 (5)의  $y'(t)$ 는 Gaussian 펄스가  $T_d$ 만큼 지연된 형태이다. 식 (6)의  $z(t)$ 는 식 (4)와 (5)의 Gaussian 펄스와 시간지연을 갖은 Gaussian 펄스를 합성한 TDMG 펄스이고, 식 (7)은 TDMG 펄스의  $n$ 차로 미분형이다.

이와 같은 수학적 모델을 이용하여 UWB 송수신기에 탑재하기 위한 시스템 모델은 그림 5과 같고, 각 단의 파형은 그림 6과 같다.

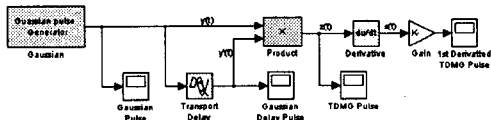


그림 5. TDMG Pulse Generator Model in Simulink

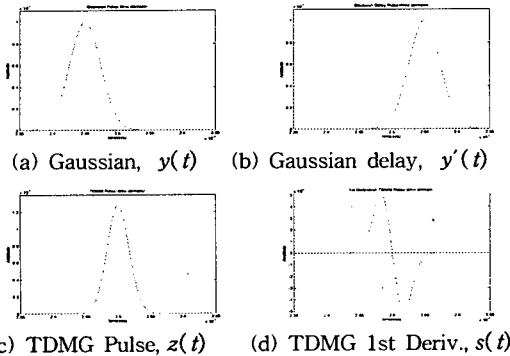


그림 6. Result of TDMG Pulse Generator

그림 6에서 보는 바와 같이 펄스 발생기 모델에 의해 발생된 TDMG 펄스는 그림 4의 기본 개념에 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

2. Pulse Type & Modulation

UWB 송수신기에 TDMG 펄스 발생기 모델을 탑

재하기 위해 송신 펄스 형태와 변조방식을 선택할 수 있는 구조를 그림 6과 같이 모델링 하였고, '1'을 전송할 때의 결과는 그림 7과 같다.

그림 7에서 보는 바와 같이 설계한 모델은 선택한 TDMG 펄스를 이용하여 선택한 변조방식에 따라 정보신호를 송신하였다.

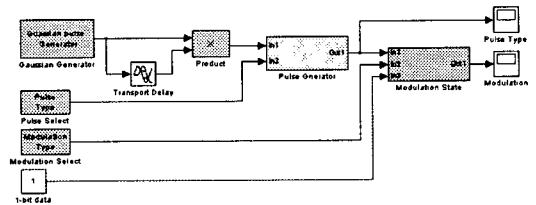


그림 6. Pulse Type & Modulation Model in Simulink

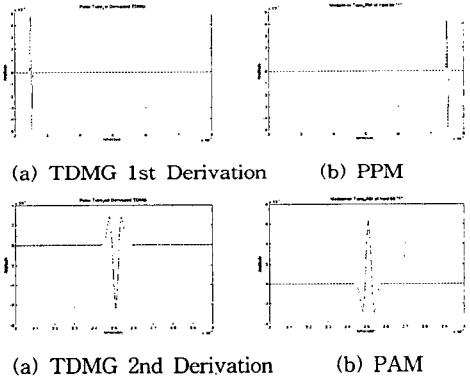


그림 7. Result of Pulse Type & Modulation

IV. UWB 송수신기 설계 및 모의실험

제안한 TDMG 펄스 발생기를 실제 UWB 시스템에 응용할 수 있도록 3장에서 제안한 모델을 이용하여 단일밴드 UWB 송수신기를 MathWorks의 Simulink로 설계하고, 모의실험을 통해 성능을 분석하였다. 설계한 UWB 송수신기 모델은 그림 8과 같다.

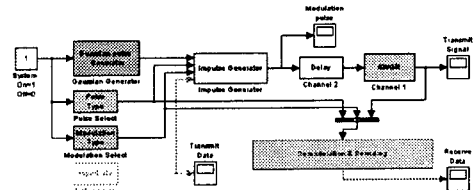


그림 8. UWB Transceiver using TDMG Pulse

그림 8의 UWB 송수신 모델은 시스템 Enable 신호가 인가되면 이원 데이터의 전송을 시작한다.

Gaussian 펄스 발생기단에서는 펄스 발생에 필요한 주기와 펄스폭 전력등을 사용자에게 요구에 따라 선택할 수 있으며, 펄스의 형태와 변조방식 또한 사용자에게 따라 설정할 수 있다. 모델링 UWB 송수신기는 펄스 형태는 TDMG 펄스의 1차와 2차 미분형을 제공하고, 변조는 PPM과 PAM이 가능하다. TDMG 펄스의 주기는 100ns이고, 펄스 폭은 1ns이며, Sampling 주기는 1ps 갖도록 설계하였다.

이와 같은 UWB 송수신기 모델로 '11010'의 신호를 TDMG 2차 미분형 펄스를 이용하여 PAM 변조로 전송한 경우의 전송 및 복조 파형은 그림 9와 같다.

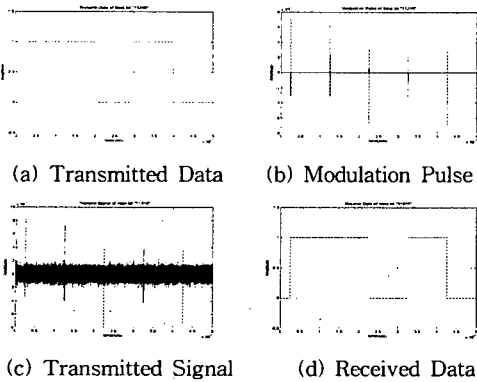


그림 9. Result of Simulation

그림 9에서 보는 바와 같이 TDMG 펄스는 정보 데이터에 의해 PAM 변조된 것을 볼 수 있고, 이와 같은 신호는 다중경로에 의한 시간지연과 AWGN 채널 환경을 거쳐 그림 9(c)와 같은 형태로 수신된다. 수신된 신호는 복조를 거치면서 전송시간과 채널 환경에 따라 약 25ns의 지연 시간을 갖고 복조된 것을 검증하였다.

이와 같은 환경에서  $10^7$ 개의 이원신호를 표본화하여 전송한 경우, 전송속도는 100Mbps를 만족하였고, BER은  $10^{-6}$ 으로 무선전송에 적합하였다. 또 전송되는 TDMG 펄스 하나의 주파수 스펙트럼 성분은 그림 10과 같이 FCC의 권고수준을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

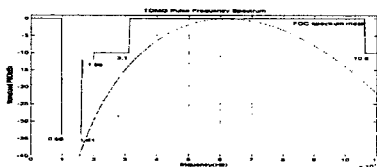


그림 10. Frequency Spectrum of TDMG Pulse (Compare with Nonnormalized FCC Spectrum Mask)

## V. 결론

본 논문에서는 다량의 데이터를 고속으로 빠르게 전송함으로써 멀티미디어 서비스를 뒷받침하기 위한 방안으로 대두되고 있는 UWB 시스템의 목적과 요구 사항에 맞추어 설계 구조가 간단하면서도 성능이 우수한 TDMG 펄스의 실제 응용의 적합성을 제시하였다. TDMG 펄스 발생기를 수학적으로 접근하여 모델링하였고, 이를 바탕으로 시스템에서 탑재가 가능하도록 시스템화하였다. 또한 이와 같은 TDMG 펄스 발생기를 탑재한 시스템의 성능 분석을 위해 단일밴드 방식의 UWB 시스템을 Simulink로 설계하여 모의 실험하였다. 설계된 UWB 송수신기 모델은 다양한 변조방식과 전송환경에 대해 실험하기 위해 UWB 송수신기의 초기값과 펄스 형태, 변조 방식을 다양하게 선택할 수 있도록 모델링하였으며, 전송환경은 다중경로 페이딩에 의한 시간지연과 AWGN 채널을 추가하였다. 모의 실험 결과 TDMG 펄스로 이원신호의 전송이 가능하였으며,  $10^7$ 개의 신호를 표본화 하여 전송한 경우, 100Mbps이상의 전송율을 갖으며, BER은  $10^{-6}$ 으로 무선통신에 적합한 것을 확인할 수 있었다. 또한 TDMG 펄스는 FCC에서 권고한 방사제한을 만족하였다.

본 논문에서 제안한 TDMG 펄스 발생기를 UWB 시스템에 탑재시 높은 전송율에서 낮은 오율을 갖고, 타 무선 통신과의 간섭도 억제됨으로 효과적으로 멀티미디어 서비스에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications : Further Higher Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, IEEE 802.11g/D8.2, Apr.2003.
- [2] Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications : Higher Speed Physical Layer Extension for the High Rate Wireless Personal Area Networks(WPAN), IEEE 802.15.TG3a, 2002.
- [3] Hongsan Sheng, Philip Orlik, alexander M. Haimovich, Leonard J. Cimini, Jinyun Zhang, "On the Spectral and Power Requirements for Ultra-Wideband Transmission", ICC, 2003.
- [4] Matti Hamalainen, Raffaello Tesi, Jari Linatti, "On the UWB system performance studies in AWGN channel with interference in UMTS band," IEEE Conference on Ultra Wideband Systems And Technologies, 2002