

DS-CDMA Ultra Wide Band RF 트랜시버 구현 및 성능 평가

이 일규*, 한 상철 **

공주대학교 정보통신공학부*/상지영서대학**

Tel: + 82-41-850-8602, E-mail: leeik@kongju.ac.kr

Abstract

초고속통신, 고 정밀 위치정보 시스템 등을 구현하기 위해 광 대역 특성을 요구하는 UWB(Ultra Wideband) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 DS-CDMA(Direct Sequence - Code Division Multiple Access)를 근간으로 하는 3 GHz ~ 5 GHz의 주파수 대역을 갖는 UWB 시스템에서 아날로그 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변복조, 주파수 변환 및 전력 증폭 기능을 수행하는 RF 트랜시버 설계 방안을 제시하였고, 광 대역 특성을 만족하는 주요 구성 성분들의 설계 방법 및 성능 특성을 분석하였다. 상용 부품 및 제작된 부품 들을 이용하여 구현된 RF 트랜시버에 대한 성능평가를 통해 DS-CDMA 방식의 UWB 시스템을 위한 RF 트랜시버 설계 및 구현 접근 방법을 검증하였다.

I. 서론

최근 초고속, 저 전력, 뛰어난 위치정보, 저가의 데이터 전송을 위한 기술로써 Ultra Wide Band(UWB) 기술이 활발히 연구되고 있다. UWB는 DC 부터 수 GHz 까지 광 대역 신호로 분포되기 때문에 고속과 대용량의 데이터 전송을 요구하는 근거리 통신망에 적합하다. UWB 기술은 주로 거리측정, 군사용 목적의 통신기기, 지하내부의 물체 측정 등에 사용되는 시스템들이 개발되어 왔다 [1]. 2002년 2월 미국 Federal Communications Commission(FCC)에 의해 UWB 시스템을 중심 주파수의 20 % 이상 Fractional Bandwidth 또는 500 MHz 이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의하였다[2]. UWB 구현 방법으로는 초기에 짧은 단일 펄스에 의해 광 대역 주파수 특성을 얻을 수 있던 임펄스 방식이 제안 되었으며, 현재는 대역폭을 유연성 있게 활용할 수 있는 Multiband-Orthogonal Frequency Division Multiplexing(MB-OFDM), Direct Sequence-CDMA(DS-CDMA) 등 시스템 구현이 비교적 용이한 다중 대역을 갖는 방식으로 발전되고 있으며 각각의 방식들은 국제 표준화 회의에서 활발히 논의 되고 있다[3].

DS-CDMA 방식은 광 대역으로 확산을 시키기 때문에 에너지 레벨이 낮으며, 확산 시퀀스를 모르면 복조가 거의 불가능 하므로 도청이나 감시가 어려운 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 DS-CDMA 방식을 바탕으로 하는 UWB 시스템에 적용 가능한 RF 트랜시버 설계 및 구현 요구 사항을 제시하였다. 특히, RF 트랜시버를 구성하는 주요 부품들은 광대역 특성에 맞도록 설계 및 제작하였다. UWB 신호 이외의 신호를 제거하는 역할을 하는 대역통과 필터를 Butterworth 5 pole 이상 마이크로 스트립으로 제작 하였고, 광 대역 저 잡음 증폭기능을 하는 저 잡음 증폭기는 90° 3 dB 하이브리드 커플러를 이용한 2단 평형 증폭기로 제작 하였다. 전력 증폭기는 상용 모듈과 입력력 매칭 회로를 첨가하여 설계 및 제작하였다. 제작된 주요 과 상용부품들을 이용하여 RF 트랜시버를 설계 및 구현하였다. 송신 과 수신 특성을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였고, W-CDMA 신호 발생기 및 신호 분석기를 이용하여 구현된 RF 트랜시버의 성능 특성을 측정하여 요구규격과 비교 검토함으로써 DS-CDMA 방식 UWB 시스템에 적용될 RF 트랜시버 설계 및 구현 접근 방법을 검증하였다.

II. DS- CDMA UWB RF 성능 요구사항

2002년 2월 미국의 FCC는 3.1 GHz ~ 10.6 GHz 대역에서 UWB 기기의 방사전력 마스크를 규정하였으며 국내에서도 전파기준에 따른 방사전력 마스크를 규정하였다 [4]. 그림 1에 방사전력 마스크 특성을 나타내었다.

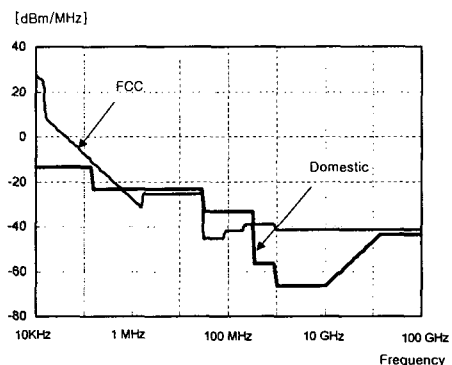


그림 1. 미국과 국내 전파기준에 따른 UWB

방사전력 특성

UWB 시스템의 전송거리를 위해서는 송수신기의 안테나 이득, 안테나 높이, 방향성, 대역폭, 중심 주파수, 송수신 데이터의 전송율이 고려되어야 한다. 특히 수신 성능에 결정적 영향을 주는 수신기의 잡음지수와 복조시 수신기가 요구하는 최소 신호 대 잡음비(S/N)를 고려해야 한다. 일반적으로 UWB 시스템이 Indoor 환경에서 이용되는 경우를 가정하여 Bell Lab의 A. Kamerman 이 제안한 propagation 모델을 사용할 수 있다.

$$L_{path} = 20 \log(4\pi r/\lambda), r \leq 8 \text{ m}$$

$$= 58.3 + 33 \log(r/8), r > 8 \text{ m}$$

(1)

여기서 λ (m)는 자유 공간상에서의 파장을 나타내고 r은 거리(m)를 나타낸다. Indoor 모델에서 주파수 및 거리에 따른 전파 감쇄특성은 그림 2와 같으며 1GHz 신호와 3 GHz 신호 간에는 약 9.5 dB 정도의 차이가 있음을 알 수 있다.

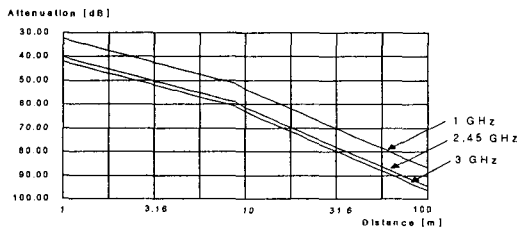


그림 2. Indoor 모델에서 주파수 및 거리에 따른 전파 감쇄 특성

UWB 시스템이 신호를 송수신할 때 최대 허용되는 전파 경로 손실은 식(2)와 같이 표현된다.

$$L_{path} \text{ [dB]} = P_T + G_T + G_R - (S/N)_{req} + PG$$

$$- 10 \log_{10}(N_0 W) - NF - M$$

(2)

여기서 P_T 는 송신기 최대전력(전파기준에 의해 제한되는 최대출력), G_T 는 송신기에서의 안테나의 이득, G_R 은 수신기에서 안테나의 이득, $(S/N)_{req}$ 는 복조기에서 요구되는 최소 S/N 비, PG는 처리이득(대역폭/전송속도), N_0 는 단위 주파수 당 열잡음(-174 dBm/Hz), W는 UWB 신호 대역폭, NF는 잡음지수, M은 복조 마진을 나타낸다. UWB 시스템의 전송거리를 계산하기 위한 파라미터들을 표1에 요약 하였다.

표 1. UWB 전송거리 파라미터

Item	Domestic	FCC
P_T	1.78 [dBm]	27.18 [dBm]
G_T	0 [dBi]	0 [dBi]
G_R	0 [dBi]	0 [dBi]
$(S/N)_{req}$	14.1 [dB], (for BER 10^{-4})	14.1 [dB]
N_0	-174 [dBm/Hz]	-174 [dBm/Hz]
W	1 [GHz]	1 [GHz]
$10 \log_{10}(N_0 W)$	-84 [dBm]	-84 [dBm]
PG	30 [dB],(for 1 Mbps)	30 [dB]
NF	10 [dB]	10 [dB]
M	10 [dB]	10 [dB]
Max. L_{path}	81.38 [dB]	106.78 [dB]

상기 요구사항들을 고려하여 DS-CDMA UWB 시스템에 적용될 RF 트랜시버 성능 및 인터페이스 요구사항을 표 2에 정리하였다.

Items	Performance Requirement	Unit
Frequency	3.1 ~ 5.1	[GHz]
Output level of transmitter	-10	[dBm]
Antenna gain of transmitter	0	[dBi]
Input level of transmitter	0	[dBm]
Antenna gain of receiver	0	[dBi]
Input level of receiver	-50 ~ -80	[dBm]
Noise Figure	7	[dB]
Receiving dynamic range	30	[dB]
Output level of receiver	0	[Bm]

표 2. DS-CDMA UWB RF 성능요구사항

DS-CDMA UWB RF 트랜시버의 송신 경로는 모뎀 부에서 DAC(Digital to Analog Converter)를

통해서 나온 아날로그 기저대역 신호를 입력 받아 아날로그 QPSK 변조를 수행한 다음 전력증폭 및 대역 여파한 후 안테나를 통해 출력하게 된다. 수신 경로는 안테나로부터 수신된 RF 신호를 아날로그 QPSK 복조를 수행한 후 AGC(Automatic Gain Control) 동작을 통해 아날로그 기저대역 신호로 ADC(Analog to Digital Converter) 입력에 일정한 레벨로 출력하게 된다. RF 트랜시버의 기능, 성능 및 인터페이스를 고려한 블록도를 그림 3에 나타내었다.

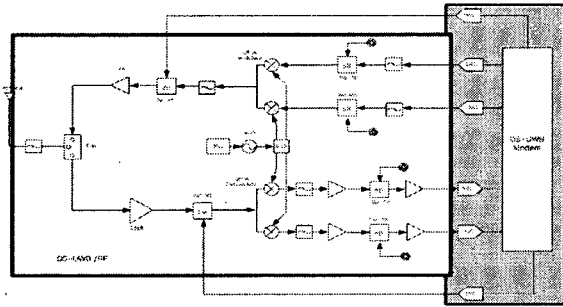


그림 3. DS-SS UWB RF 트랜시버 구성도

III. DS-SS UWB RF 트랜시버 설계, 구현 및 성능 평가

DS-SS UWB RF 트랜시버를 구성하는 각 성분들의 특성들을 고찰한 후 Syscal.4 시뮬레이션 툴을 이용하여 RF 트랜시버 수신 경로 특성 및 송신 경로 특성을 분석하였다. 수신 경로는 그림 4 에서와 같이 수신 레벨이 -80 dBm 인 경우 아날로그 출력 레벨이 0 dBm 되도록 하기위해 경로 이득은 -82.4 dB를 얻었고, 수신기 잡음지수는 요구 규격인 7 dB 를 만족시키는 5.1 dB 로 설계되었다.

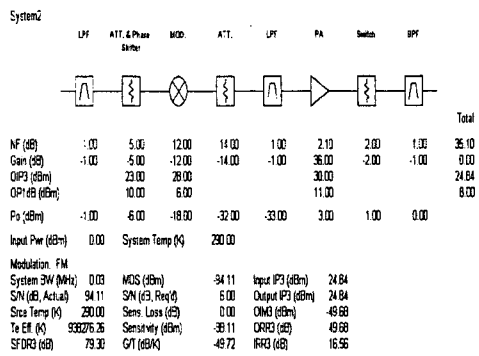
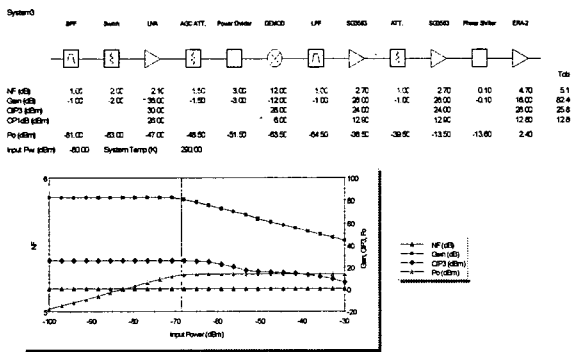


그림 4. 송수신경로 특성 시뮬레이션 결과

송신 경로는 설계 요구규격 만족하도록 RF 부품들을 구성하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 그림 5에 나타내었다. 송신 이득은 0 dB, 출력 전력은 0 dBm, OP1 dB는 8 dBm을 얻었다.

주요 구성 부품 중 저 잡음 증폭기는 광대역에서 높은 이득, 반사특성, 및 낮은 잡음지수 특성을 갖도록 하기위해 90° 3 dB Branch Line Coupler 와 평형 증폭기를 이용하여 설계하였고 시뮬레이션 특성을 시뮬레이션 하여 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

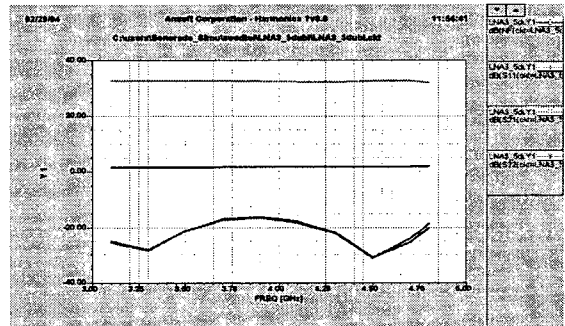


그림 5. 저 잡음 증폭기 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 30 dB 이상의 이득, -18 dB 이하의 반사특성 및 2 dB 이하의 잡음 지수특성을 얻었다. 제작 된 저 잡음 증폭기의 특성을 측정 한 결과 그림 6과 같이 잡음지수는 2~3 dB, 이득은 28~32 dB 특성을 얻었다.

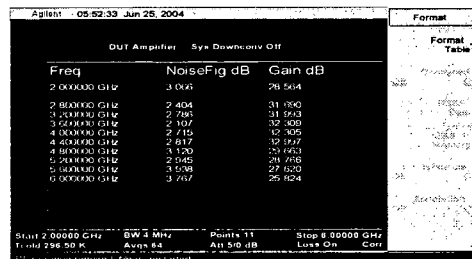


그림 6. 저 잡음증폭기 측정결과

대역통과 필터는 저대역 감쇄특성이 30 dB 이상, 통과대역 감쇄특성이 2 dB 이하가 되도록

하기 위해 Butterworth 5 pole 이상으로 Microstrip 을 이용하여 구현하였다. 시뮬레이션 결과 그림 7에서와 같이 반사특성은 -20 dB 이하, 통과대역 감쇄특성은 1 dB 이하를 얻었다.

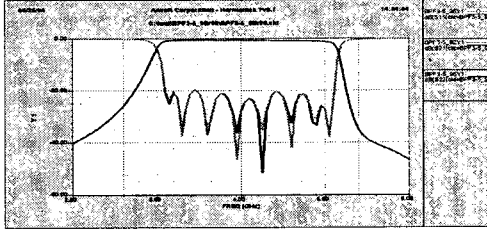


그림 7. 대역통과 필터 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 반사특성은 -20 dB 이하, 통과대역 감쇄특성은 1 dB 이하를 얻었다. 실제 측정 결과는 그림 8와 같이 반사특성은 -13 dB 이하, 통과대역 감쇄특성은 2 dB 이하를 얻었다.

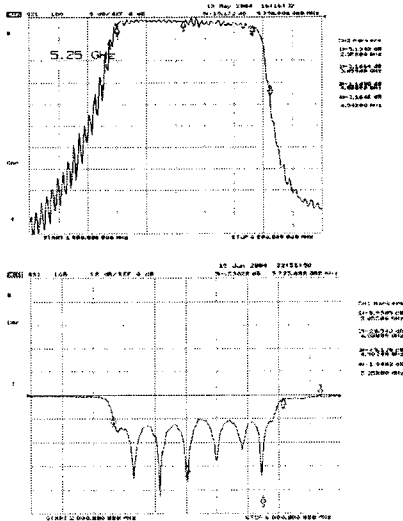


그림 8. 대역통과필터 측정 결과

전력 증폭기는 2개의 전력증폭기를 연결하여 시뮬레이션 결과 약 20 dB 이득, 18 dB 이하의 반사특성을 얻었으며 측정결과 약 20 dB 이상의 이득 특성을 얻었다. 시뮬레이션 결과 및 측정결과를 그림 9 에 나타내었다.

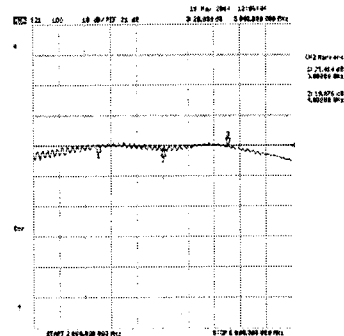
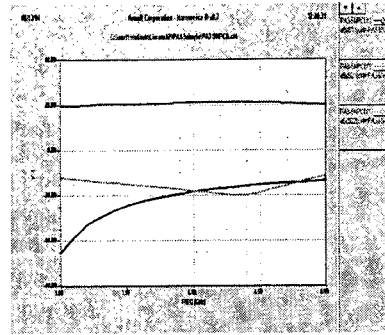


그림 9. 전력증폭기 시뮬레이션 및 측정결과

제작된 주요 부품 및 상용 부품들을 이용하여 구현한 DS-CDMA UWB RF 트랜시버는 그림 10 과 같이 기능상 송신 부, 수신부, 주파수 합성부로 구성하였다.

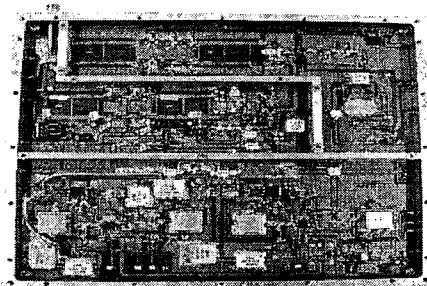


그림 10. 구현된 DS-CDMA UWB RF 트랜시버

구현된 RF 트랜시버의 송신 특성을 측정하기 위해 W-CDMA 신호 발생기를 이용하여 신호원을 발생 시켰고, RF 트랜시버를 통과한 신호를 안테나 입력단에서 신호 분석기로 측정하여 3.978 GHz 에서의 스펙트럼 및 Constellation 을 측정하여 그림 11에 나타내었다. 측정결과 0 dBm 출력 레벨과 약 9 %의 에리백터 크기 값을 얻었다. DS-CDMA를 근간으로하는 W-CDMA 시스템인 경우 송신 신호의 품질을 정의하고 있는 에리백터 크기의 요구 규격이 17 % 이하 이므로 구현된 UWB RF 트랜시버 송신 성능 특성의 타당성을 확인 하였다.

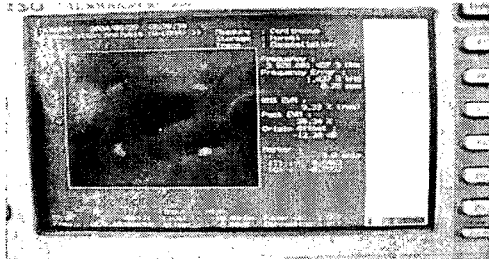
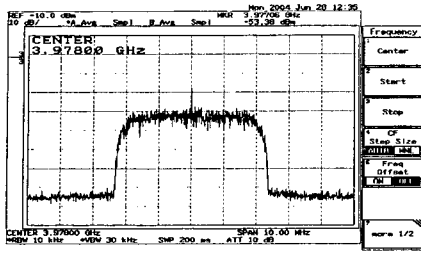


그림 11. UWB RF 송신 스펙트럼 및 신호품질 특성 측정

구현된 UWB RF 트랜시버 수신특성 측정을 위해 그림 12 와 같이 측정 환경을 구성하였다.

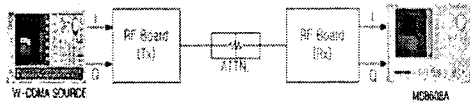


그림 12. UWB RF 트랜시버 수신특성 측정 구성도

가변 감쇄기를 조정하여 수신부에 $-80 \text{ dBm} \sim -50 \text{ dBm}$ 레벨로 입력한 후 ADC 앞단에서 코드 영역에서 신호가 복조됨을 그림 13와 같이 확인하였다.

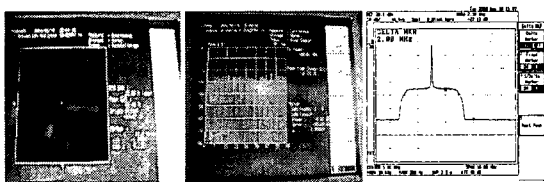


그림 13. UWB RF 트랜시버 수신특성 측정결과

IV. 결론

본 논문에서는 DS-CDMA UWB RF 관련 기능 및 성능 요구 규격을 정의 하고, 성능 요구 규격 검증용 RF 트랜시버 구현을 위해 시뮬레이션 결과를 토대로 주요 RF 부품 설계 및 제작에 관한 내용을 다루었다. 제작된 주요 부품 및 상용부품들을 이용하여 RF 트랜시버 설계 및 성능 시뮬레이션을 수행한 후 외부 인터페이스를 고려하여 구현하였다. W-CDMA 신호 발생기와

신호분석기를 이용하여 송신 신호의 스펙트럼 및 신호품질 특성을 확인하였고, 수신 신호 레벨의 변화에 따른 수신 AGC 동작 및 코드영역에서의 복조 현상을 확인하였다. DS-CDMA UWB 시스템에 적합한 RF 트랜시버의 설계 및 구현의 타당성과 성능 평가 접근 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Frank H. Sanders, Bradley J. Ramsey, Vincent S. Lawrence, "Broadband Spectrum Survey at Los Angeles, California", NTIA Report 97-336, May 1997.
- [2] FCC 02-48 First Report and Order(R&O), *Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems* : FCC, Feb. 2002.
- [3] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohn, *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, John Wiley & Sons, 2004.
- [4] FCC 03-33 Memorandum, Opinion & Order, FCC, Feb. 2003.

본 연구는 대학 IT연구센터(이하 UWB-ITRC) 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.