

논문 2012-49SD-6-5

3-5 GHz 대역 중심 주파수 변환이 가능한 프로그래머블 임펄스 라디오 송신기

(A 3-5GHz frequency band Programmable Impulse Radio UWB
Transmitter)

한 홍 곁*, 김 태 욱**

(Hong-gul Han and Tae-wook Kim)

요 약

이 논문은 3~5 GHz의 동작 주파수 대역을 지닌 임펄스 라디오 저전력 거리탐지용 송신기 설계에 관한 연구이다. 제안하는 송신기는 0.13 μm CMOS 공정을 이용하여 모든 부분을 간단한 디지털 로직으로 설계함으로써 회로 구현의 복잡도를 줄이고 낮은 전력 소모를 지닌다. 특히, UWB의 낮은 대역에서 기존의 무선 통신과의 간섭을 회피하기 위하여 중심 주파수 조절이 가능하도록 전압으로 지연 시간을 조절할 수 있는 지연 회로를 통해 주파수 변환을 적용하였다. 본 논문에서 제안하는 송신기는 1.2 V 공급 전압으로부터 10pJ/b 만의 에너지를 소모하며, 모의 실험 결과 3~5 GHz UWB 대역에서 3.3 GHz에서 4.3 GHz까지 중심 주파수 조절이 가능하며, 출력 파워는 최대 -51 dBm/MHz를 지니며, FCC 규제를 만족한다.

Abstract

This paper has proposed a 3~5 GHz IR-UWB low power transmitter for range detection application. Proposed transmitter which has been implemented in a 0.13 μm CMOS technology is all digital circuit that consist of simple digital logic. this feature insure low complexity and low power consumption. In addition, center frequency can be changed by adopting voltage controlled delay cell for avoiding existing another radio frequency in UWB low band. Proposed circuit consume only 10pJ/b from 1.2 V supply voltage. The simulation results show 3.3~4.3 GHz center frequency controllability, -51 dBm/MHz maximum output power and is satisfied with FCC regulation.

Keywords : Programmable Tx, Transmitter, IR-UWB, DAA, Range Detection

I. 서 론

최근에 초광대역(Ultra-Wideband: UWB) 라디오 통신은 3.1~10.6 GHz 대역이 FCC (Federal Communication Commission)에서 비허가 대역으로 승

인하면서 점차적으로 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 시간적으로 매우 짧은 펄스를 이용하는 임펄스 라디오(Impulse Radio: IR) UWB를 이용한 거리탐지 센서 기술이 유비쿼터스 홈 네트워크 및 보안 분야에서 유력한 무선 기술 중 하나로 각광을 받고 있다.^[1~2]

IR-UWB 시스템에서 송신되는 펄스의 형태는 가우시안 모노 사이클(Gaussian monocycle) 펄스 또는 임펄스 트레인(train)이 사용될 수 있다. 많은 경우 넓은 대역폭을 확보하기 위해서 가우시안 모노 사이클 펄스가 많이 사용된다.^[3~4] 하지만 이 경우 FCC 규제를 만족하기 위해서는 추가적인 RF 여과기가 필요하게 되고

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 연세대학교 전기전자공학부

(Dept. of EE, Yonsei University)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0004976)

접수일자: 2012년3월2일, 수정완료일:2012년5월23일

이는 더 넓은 칩의 면적으로 인해 비용의 부담이 된다. 이를 해결하기 위해서는 송신기가 추가적인 여과기 없이 FCC 규제에 부합하는 적절한 파형을 만들 수 있어야 한다.^[5]

거리탐지를 위해 UWB를 사용할 경우 낮은 주파수 대역을 사용할 수 록 신호의 전파 및 감쇄 특성이 좋기 때문에 넓은 범위를 탐지 할 수 있어 유리하다. 하지만 많은 나라에서 UWB의 낮은 대역(3.1~4.8 GHz)을 사용할 경우 DAA(Detection and Avoidance) 기술을 적용하여 타 무선국의 신호를 감지할 경우 간섭을 회피하기 위하여 송신 신호의 대역을 변경하여야 한다.^[6] 특히 한국의 경우 낮은 대역은 이동방송중계용 및 차세대이동통신(4G) 후보대역이기 때문에 이와의 공유를 위해 간섭방지기술을 적용하여야 한다. 그러기 위해서는 IR-UWB 송신기는 송신 신호의 주파수를 변경할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 기존에 발표된 IR-UWB 송신기에 비해, 모든 부분을 간단한 디지털 로직으로 구현하여 추파적인 RF 여과기 없이 송신 신호를 생성함으로써 회로 구현의 복잡도를 줄이고 저전력 특성을 지니며, 타 무선국과의 간섭을 피하기 위해 송신 신호의 중심 주파수 변경이 가능한 새로운 송신기를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 송신기는 0.13 μm CMOS 공정을 이용하여 구현하였으며, 모의 실험 결과도 제시한다.

II. 제안하는 송신기 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 IR-UWB 송신기 구조의 블록도이다. 기준이 되는 클럭 신호를 전압으로 조절 가능한 지연 회로에 인가하면 순차적으로 지연된 클럭 신호를 생성하게 되고 이를 이용하여 펄스 생성기에서 임펄스 신호를 생성하게 된다.

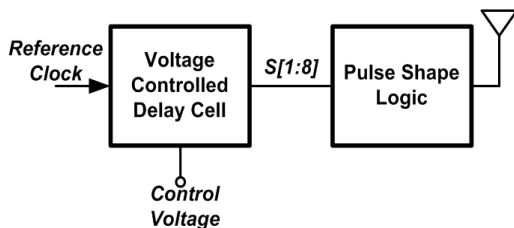


그림 1. 제안하는 송신기의 블록도
Fig. 1. Block diagram of proposed transmitter.

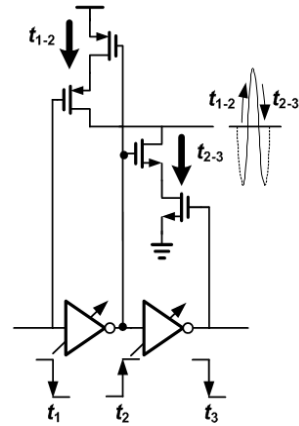


그림 2. 단일 펄스 생성기의 동작 원리
Fig. 2. Operation of unit pulse generator.

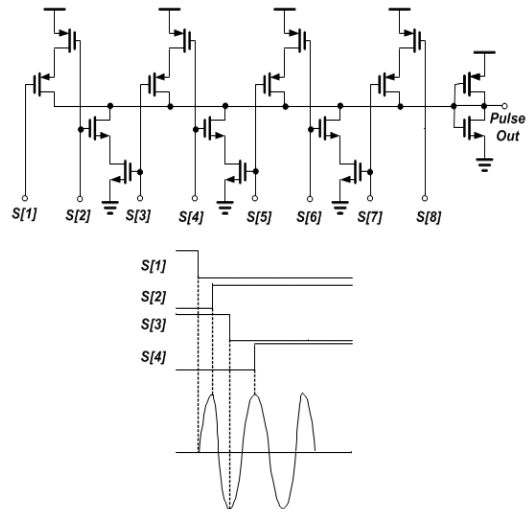


그림 3. 펄스 생성기의 구조 및 임펄스 타이밍도
Fig. 3. Schematic of pulse shape logic and impulse timing diagram.

그림 2는 임펄스 생성기와 지연 회로를 통해 임펄스를 생성하는 원리를 단일 펄스 생성기를 통해 나타낸 그림이다. 그림 2의 아래처럼 클럭 신호의 하강 엣지(t_1)가 첫 번째 인버터(Inverter)로 인가되면 인버터를 통과한 클럭 신호가 상승 엣지(t_2)가 되는 지연 시간(t_{1-2})동안, 그림 2의 왼쪽 위에 보이는 두 PMOS의 게이트(gate)는 로우(low)가 인가되어 출력이 vdd로 상승하게 된다. 마찬가지로, 상승 엣지(t_2)가 두 번째 인버터로 인가되면 두 번째 인버터를 통과한 클럭 신호가 하강 엣지(t_3)로 가게 되는 지연시간(t_{2-3})동안 그림 2의 오른쪽 아래에 보이는 두 NMOS의 게이트에 하이(high)가 인가되어 출력이 gnd로 하강하게 된다. 이처럼 클럭의 엣

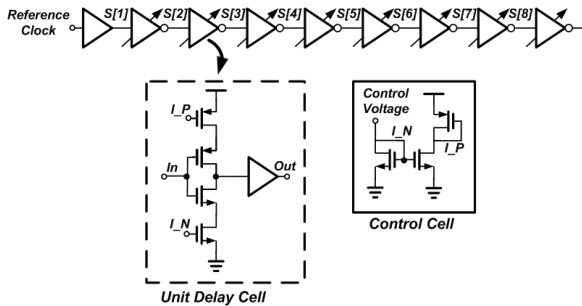


그림 4. 전압으로 조절 가능한 지연 회로 구조
Fig. 4. Voltage controlled delay circuit.

지가 두 개의 인버터를 통과하면 하나의 임펄스가 생성되게 된다.^[5]

그림 3은 펄스 생성기의 전체 구조이다. 그림 2에서 설명한 단일 펄스 생성기를 여러 단을 연결하면 전체 임펄스를 만들어 낼 수 있다. 이 때 생성된 임펄스 신호의 대역폭을 고려하여 단일 펄스 생성기의 개수를 결정하여야 한다. 왜냐하면 단일 펄스 생성기의 개수는 신호의 길이(duration)를 결정하고 이는 신호의 대역폭을 제한하기 때문이다. 본 논문에서 설계한 펄스 생성기는 지연 회로로부터 8개(S[1:8])의 신호를 각각의 PMOS와 NMOS의 게이트 입력으로 받아서 임펄스를 생성한다. 그리고 생성된 임펄스가 FCC 규제를 만족시키기 위해서는 그림 3에서 보이는 펄스 생성기 PMOS와 NMOS의 적절한 사이즈를 결정하는 것이 중요하다. 펄스 생성기에서 생성되는 임펄스의 주파수 스펙트럼이 FCC Mask를 벗어나지 않도록 하기 위해서는 중심 주파수 대역에 비해 사이드 로브(side lobe) 대역의 파워를 매우 낮게 낮추어야 유리하다.

그림 3의 아래는 생성된 임펄스의 타이밍도이다. 그림 3의 출력단과 같이 PMOS와 NMOS를 다이오드(diode) 연결을 한 것은 출력단 이후에 연결되는 안테나와의 임피던스(impedance)를 맞춰 주기 위해서이다. 또한 출력단에 적절한 DC 기준 전압을 인가하여 펄스 생성기의 PMOS와 NMOS의 동작을 원활하게 한다.

그림 4는 전압으로 조절이 가능한 지연 회로의 구조를 나타낸 그림이다. 총 여덟 개의 단일 지연 회로로 구성되어 있으며 각각의 단일 지연 회로는 지연 시간이 조절 가능한 인버터와 버퍼(buffer)로 구성되어 있다. 인버터의 지연 시간을 조절하기 위하여 일반적인 인버터 구조에 vdd와 gnd 쪽에 각각 PMOS와 NMOS를 추가적으로 연결하였다. 그림 4의 조절부(Control Cell)로

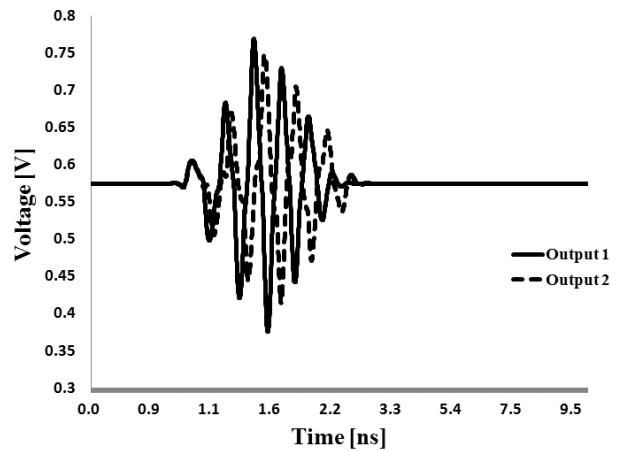


그림 5. 송신기 출력 파형의 모의 실험 결과
Fig. 5. Simulation result of transmitter output waveform.

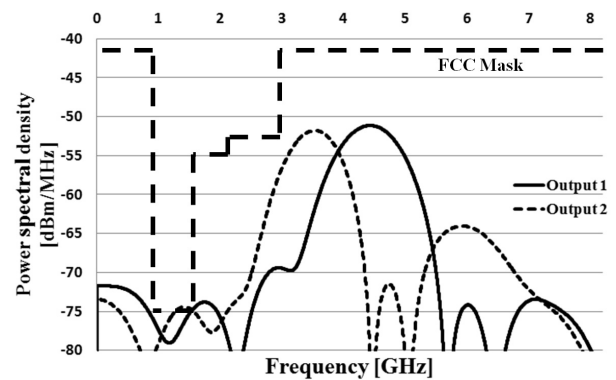


그림 6. 송신기 출력 주파수 스펙트럼의 모의 실험 결과
Fig. 6. Simulation result of output frequency spectrum.

조절 전압이 인가되면 조절부를 통해 지연 시간을 조절하는 PMOS와 NMOS의 게이트로 특정 전압이 인가된다. 이를 통해 인버터에 상(state)이 전이(transition)될 때 인버터에 흐르는 전류의 양을 조절하여 지연시간을 조절한다. 지연시간이 달라지면 그림 3의 펄스 생성기에서 생성되는 펄스의 상승 시간과 하강 시간이 달라지기 때문에 임펄스 출력의 중심 주파수가 바뀌게 된다. 이를 통해 송신할 임펄스 신호의 대역을 이동시킬 수 있다. 결과적으로 본 논문에서 제안하는 송신기는 조절 전압을 통해 주파수 변환이 가능하여, 타무선국과의 간섭을 피하기 위한 DAA 기술적용이 용이하다.

III. 모의 실험

그림 5는 본 논문에서 제안하는 송신기의 출력에 대

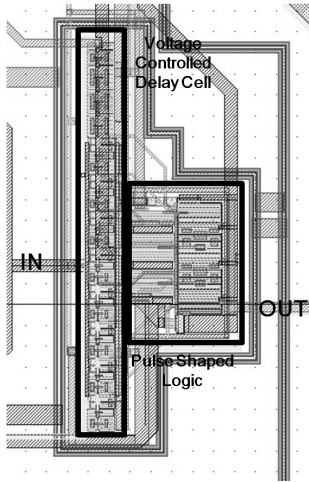


그림 7 제안하는 송신기의 레이아웃
Fig. 7. Layout of proposed transmitter

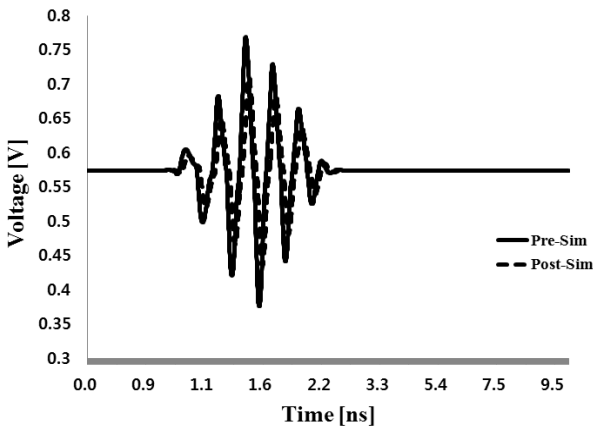


그림 8. Pre-simulation과 post-simulation 사이의 송신기 출력파형 비교
Fig. 8. Transmitter output waveform comparison between pre-simulation and post-simulation.

한 모의실험 결과를 보여준다. 모의실험은 cadence spectre 모의실험 도구를 이용하여 입력으로 1 MHz 주파수에 1 ns의 상승 시간과 하강 시간을 가진 클럭 신호를 인가하였고, 출력 쪽에는 안테나의 임피던스를 고려한 50 ohm 포트를 통해 출력 결과를 측정하였다. 그림 5의 출력 1을 보면, 신호의 최대치에서 최저치까지의 크기(peak to peak)가 400 mV이며 발생된 신호의 길이는 1 ns이므로 약 1 GHz의 대역폭을 가짐을 알 수 있다. 이는 UWB 규정에서 요구하는 주파수 대역폭인 450 MHz 이상을 만족한다. 또한 단일 펄스의 주기가 230 ps로 약 4.3 GHz의 중심 주파수를 가진다. 그림 5의 출력 2는 지연 회로의 지연 시간을 조절하여 주파수를 바꾼 결과이다.

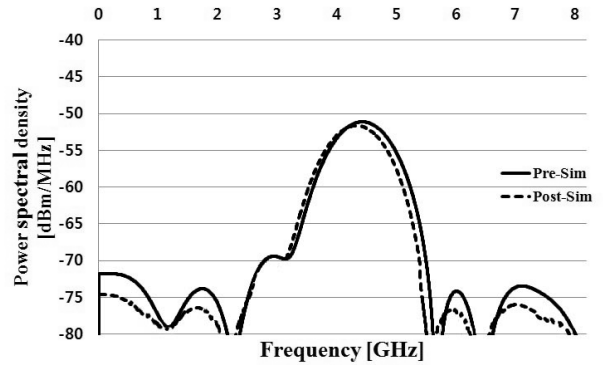


그림 9. Pre-simulation과 post-simulation 사이의 송신기 출력 스펙트럼 비교
Fig. 9. Output frequency spectrum comparison between pre-simulation and post-simulation.

출력 2의 결과를 보면 단일 펄스의 주기가 300 ps로 약 3.6 GHz로 중심 주파수가 이동함을 알 수 있다. 이때 발생된 신호의 길이는 1.5 ns로 약 750 MHz의 주파수 대역폭을 지니며 이 역시 UWB 규정을 만족한다. 신호의 최대치에서 최저치까지의 크기는 350 mV이다.

그림 6은 그림 5에 시간 축으로 나타낸 두 개의 송신기 출력을 주파수 스펙트럼으로 나타낸 모의실험 결과이다. 그림 6의 출력 1을 보면 위에서 언급한 것처럼 최대 조절 전압에서 중심 주파수가 4.3 GHz에서 형성되며 3 dB 대역폭이 1 GHz임을 확실히 알 수 있다. 이때 최대 출력파워는 -51 dBm/MHz이다. 출력 1에서 조절 전압을 최소 조절 전압으로 변경하여 주파수를 변화시킨 출력 2를 보면 중심 주파수가 3.6 GHz에 있고 3 dB 대역폭이 750 MHz임을 알 수 있다. 이때 최대 출력 파워는 -52 dBm/MHz이다. 제안하는 송신기는 조절 전압에 따라, 최대 조절 전압과 최소 조절 전압에 의해 형성되는 중심 주파수 3.6~4.3 GHz 사이에서 조절 전압에 따라 자유롭게 변환이 가능하다. 그림 6의 굵은 점선은 FCC Mask를 나타낸다. UWB 신호는 3.1~10.6 GHz 사이에서 -41.3 dBm/MHz 이하의 출력 파워로 송신하여야 하며 0.96~1.61 GHz 사이에서는 GPS 대역폭의 간섭을 피하기 위하여 -75 dBm/MHz 이하의 출력 파워로 송신하여야 한다. 그림 6을 보면 본 논문에서 제안하는 송신기가 이러한 FCC 규제를 만족함을 볼 수 있다.

그림 7은 제안하는 송신기의 레이아웃 그림이다. 레이아웃 크기는 107 μm * 55 μm 이다. 그리고 그림 8은 회로를 통한 모의실험의 출력파형 결과와 레이아웃

을 통한 모의실험의 출력파형 결과를 비교한 그림이다. 비교 실험은 동일한 vdd, 조절 전압, 기준 클럭을 인가하여 비교하였다. 레이아웃을 통한 모의실험 결과는 회로를 통한 모의실험 결과에 비해, 신호의 최대치에서 최저치까지의 크기가 약 50 mV 정도 감소함을 알 수 있다. 또한 발생된 신호의 길이는 약간 늘어남을 볼 수 있다.

그림 9는 그림 8에 시간 축으로 나타낸 두 개의 모의 실험 결과를 주파수 스펙트럼으로 나타낸 결과이다. 그래프를 보면 레이아웃을 통한 모의실험 결과가 회로를 통한 모의실험 결과에 비해, 중심 주파수가 약 200 MHz 정도 감소하였고, 최대 출력파워는 0.9 dB정도 감소하였다. 하지만 중심 주파수의 변화는 조절 전압을 통해 원하는 주파수로 조절이 가능하다.

또한, PVT(process, temperature, voltage) 변화에 따른 출력의 변화도 측정하였다. 이 때, 기준은 1.2 V vdd, -27 °C에서 중심 주파수가 4.3 GHz 이고, 최대 출력 파워가 -51 dBm/MHz 일 때로 하였다. vdd가 +/- 0.1 V 변화할 때, 중심 주파수는 최대 +/- 170 MHz 변화였고, 최대 출력 파워는 최대 0.17 dB 감소하였다. 온도는 -40 °C에서 80 °C까지 변화 할 때를 측정하였다. 이 경우 중심 주파수는 최대 +/- 170 MHz 변화였고, 최대 출력 파워는 최대 0.8 dB 감소하였다. 공정 변화는 cadence spectre의 corner 모의실험을 통해 수행하였다. 최악의 상황을 고려한 fast-fast(ff)와 slow-slow(ss) corner에서 중심 주파수는 최대 +/- 300 MHz 정

도 변화였고, 최대 출력 파워는 +/- 1.4 dB 변화하였다. 중심 주파수의 변화는 제안하는 기술의 조절 전압을 통해 보상 가능하다.

표 1은 다른 IR-UWB 송신기와 제안하는 회로와의 성능을 비교한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이, 본 논문에서 제안하는 송신기는 기존에 발표된 다른 송신기 구조들에 비해 매우 낮은 에너지를 소모하면서도 주파수 조절이 가능하다는 장점을 지님을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 거리탐지용 IR-UWB 0.13 μ m CMOS 송신기를 제안하였다. 제안하는 회로는 출력 파형 생성기를 RF 여파기를 적용하지 않고 간단한 디지털 로직으로 설계하여 회로의 복잡도를 낮추고, 낮은 전력 소모를 구현하였다. 또한 UWB의 낮은 대역에서 타 무선 통신과의 간섭을 회피하기 위하여 임펄스를 만들어 내는 지연 회로의 지연 시간 조절을 가능하도록 함으로서 중심 주파수를 변경할 수 있도록 하였다. 제안하는 송신기는 1.2 V의 공급 전원으로부터 단지 10 pJ/b의 에너지만을 소모하며, 모의실험 결과 3.3 GHz에서 4.3 GHz 까지 중심 주파수 변경이 가능하고, 3~5 GHz의 동작 대역을 지니며, 최대 출력 파워는 -51 dBm/MHz 를 지닌다.

참 고 문 헌

표 1. 다른 IR-UWB 송신기와 성능 비교
Table 1. Performance comparison of different IR-UWB transmitter.

	This work*	Reference[5]	Reference[7]
Band of operation	3-5 GHz	3-5 GHz	6-10 GHz
Data rate	1Mb/s	10Mb/s	750Mb/s
Energy consumption	10pJ/b	12pJ/b	47pJ/b
Supply voltage	1.2V	1.8V	1.2V
CMOS Tech.	130nm	180nm	90nm

*Simulation result

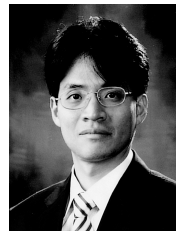
- [1] 이순우, 박영진, 강지명, 김용화, 김관호 “무선 센서 네트워크 응용을 위한 초광대역 임펄스 통신용 저복잡도, 저전력 베이스밴드 트랜시버” 대한전자공학회 전자공학회논문지, 제45권 TC편, 제7호 38-44쪽, 2008년 7월
- [2] 이순우, 박영진, 김관호 “다중 경로 환경에 적합한 저전력 저복잡도의 IR-UWB 수신기 설계 및 구현” 대한전자공학회 전자공학회논문지-TC pp. 24-30 제44권 제6호 2007년 6월
- [3] B. Xu *et al.*, “Power-efficient switching-based CMOS UWB transmitters for UWB communications and radar systems,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 8, pp. 3271-3277, Aug. 2006.
- [4] T. Terada *et al.*, “A CMOS ultra-wideband impulse radio transceiver for 1-Mb/s data communications and +2.5-cm range finding,”

- IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 41, no. 4, pp. 891-898, Apr. 2006.
- [5] V. Kulkarni *et al.*, "A 750 Mb/s, 12 pJ/b, 6-to-10 GHz CMOS IR-UWB transmitter with embedded on-chip antenna," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 44, no. 2, pp. 394-403, Apr. 2009.
- [6] 윤영근, 황택진, 홍헌진, "전파자원의 효율적 이용을 위한 제도 및 기술 동향," *전자통신동향분석*, 제21권 제4호, 70-79쪽, 2006년 8월
- [7] D. D. Wentzloff *et al.*, "A 47 pJ/pulse 3.1-to5 GHz all-digital UWB transmitter in 90 nm CMOS," *IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 118-119 Feb. 2007.

 저 자 소 개



한 홍 걸(학생회원)
 2010년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업.
 2012년 연세대학교 전기전자공학부 석사 졸업.
 <주관심분야 : 아날로그/RF 회로 설계>



김 태 욱(정회원)-교신저자
 2000년 연세대학교 전기공학과 학사 졸업.
 2002년 한국과학기술원 전자전산학과 석사 졸업.
 2005년 한국과학기술원 전자전산학과 박사 졸업.
 <주관심분야 : 아날로그/RF 회로 설계>