

시영역에서 임펄스 레이더 시스템의 실험적 구현

이두진*

Implementation of Impulse Radar System in Time Domain within Laboratory Unit

Doojin Lee*

요약 본 논문에서는 근거리 존재하는 타겟의 거리 정보를 탐지할 수 있는 간단한 구조를 제안하고 직관적으로 시영역에서 초광대역 신호를 추출하는 방법에 대해 기술하였다. 제안된 임펄스 레이더 시스템은 임펄스 발생회로, 초광대역 송수신 안테나 및 함수 발생기, 디지털 오실로스코프로 구성된다. 10MHz의 정현파를 입력 신호로 인가하였을 때 발생하는 신호의 펄스폭은 200ps 및 주파수영역에서 0.3GHz에서 4.7GHz의 대역을 점유하는 일차 미분된 가우시안 펄스임을 측정을 통해 확인하였다. 동일한 초광대역 송수신 안테나를 활용하여 수신하였을 때 신호는 펄스폭이 328ps 및 스펙트럼은 0.9GHz에서 4.4GHz의 대역을 점유하는 가우시안 더블릿의 형태의 초광대역 신호로 측정되었다. 반경 4cm 정도의 원형 금속 물질과 코너 리플렉터를 타겟으로하여 일정 거리 만큼 이격하였을 때 실 타겟의 위치정보를 추출함을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract This paper presents the method to extract the ultrawide-band (UWB) signal and proposes the simple impulse radar system for sensing real-based target within close-range area. The proposed impulse radar system consists of impulse generator, ultrawide-band antennas, function generator, and digital oscilloscope. It is verified by experiment that a differentiated Gaussian pulse is generated with 200ps of pulse width and corresponding spectrum from 0.3 to 4.7 GHz once a sinusoidal wave with 10MHz is excited. The Gaussian doublet is received by identical antennas and it is shown that the UWB pulse width of 328ps and its spectrum is from 0.9 to 4.4 GHz. It is confirmed that the UWB pulse is extracted when the real-based targets such as circular target with 4cm radius and corner reflector are placed at the close-range area.

Key Words : Impulse antenna, Impulse radar system, resistively loaded UWB antenna, UWB impulse antenna.

1. 서론

임펄스 레이더(impulse radar)는 임펄스 신호를 송수신할 수 있는 안테나를 통해서 목표물에 반사되어 돌아오는 신호를 분석하고 목표물의 거리 정보를 획득하는 시스템이다. 임펄스 레이더는 지반탐사레이더 [1], 벽투과레이더 [2], 의료영상화레이더 [3] 등에 응

용되고있다. 이러한 임펄스 레이더 응용에 사용되는 입력신호는 임펄스 유사 신호로펄스 폭의 단위가 피코초(pico-second)에 해당한다 [4]. 피코초에 준하는 펄스의 스펙트럼은 수 GHz의 대역폭으로 투과레이더응용에서는 500MHz에서 4GHz의 광대역 신호를 사용한다. 이러한 광대역신호는 임펄스 유사 신호로 가우시안

Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Changwon National University (CWNU), Changwon 5114 0, South Korea. This research was supported by Changwon National University in 2023~2024.

*Corresponding Author : Division of Electronic Engineering, Changwon National University (doojin.lee@changwon.ac.kr)
 Received March 21, 2024 Revised March 27, 2024 Accepted April 04, 2024

펄스 형태 또는 가우시안 펄스의 미분형이 유사신호로 속한다. 가우시안 펄스의 경우는 스펙트럼에서 DC성분에 에너지가 많이 집중되어 안테나의 입력신호로 사용되기에는 적절하지 않지만, 가우시안 펄스의 미분형들의 스펙트럼은 DC에서 0의 값을 가지며 일정 대역을 점유할 수 있어서 임펄스 레이더에 사용되는 안테나의 입력신호로 많이 사용된다 [4].

임펄스 유사 신호를 송수신하는 안테나는 전형적으로 초광대역안테나(ultra-wideband antenna)에 해당하고 안테나의 종류로는 시뉴어스 안테나 [5], 비발디 안테나 [6], 보우타이 안테나 [7], 혼 안테나 [8], 저항성안테나 [7], 대수주기안테나 [10] 등이 있다. 초광대역 안테나는 응용 분야 및 탐지하려는 타겟(target)의 형상에 의존하여 안테나의 특성인 대역폭, 안테나 이득, 복사 패턴, 효율 등을 고려하여 설계에 반영한다.

일반적으로 임펄스 레이더 시스템은 임펄스 유사 신호 발생회로, RF(radio frequency) 증폭기, 초광대역 송신 안테나로 이루어진 송신기 및 초광대역 수신 안테나, 저잡음 증폭기, 신호분석장치로 이루어진 수신기로 구성된다. 초광대역 송신 안테나에서 방사되는 신호는 입력으로 사용된 임펄스 신호의 미분형이 방사된다. 타겟에 반사되어 되돌아오는 펄스는 수신단에서 신호를 저잡음 증폭기를 통해 신호 대 잡음비를 개선한 신호로 수신하여 모니터링 가능한 장치로 도시화한다.

한편, 임펄스 신호를 송수신하는 시스템의 다른 경우는 계단주파수레이더(steped frequency radar)를 들 수 있다. 계단주파수레이더는 N개의 펄스에 해당하는 송신 주파수로부터 N개에 해당하는 응답 신호를 각각 획득한다. 시영역으로 도시화하기 위해서는 획득된 주파수 응답 신호와 입력신호의 스펙트럼과 곱한 신호에 대해 역푸리에(inverse Fourier transform) 변환의 신호처리과정을 별도로 수행하는 것을 필요로 한다.

근거리에 존재하는 타겟을 탐지하는 방법에는 도플러 효과를 활용하여 근접한 타겟의 상대적인 위치 정보를 획득할 수 있지만, 이는 움직이는 대상의 상대 속도에 대한 정보만 획득 가능하고 거리에 대한 정보는 획득할 수 없다.

본 논문에서는 수 센티미터의 근거리에 존재하는 타겟의 거리 정보를 탐지할 수 있는 간단한 구조이면

서 직관적으로 시영역에서 도시화 가능한 임펄스 레이더 시스템을 제안한다. 시스템으로는 송신단을 구성하는 임펄스 발생회로, 초광대역 송신 안테나 및 수신단에서는 초광대역 수신 안테나, 디지털 오실로스코프로 구성된다.

II. 임펄스 레이더 시스템의 실험적 구현

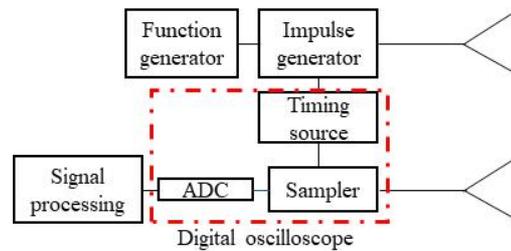


그림 1. 제안된 임펄스 레이더 시스템의 구조
Fig. 1. Configuration of proposed impulse radar system..

그림 1은 제안된 간단한 구조의 임펄스 레이더 시스템의 구조이다. 시스템은 임펄스 유사 신호를 발생시키는 임펄스 발생회로, 초광대역 송신 안테나로 구성된 송신단 및 초광대역 수신 안테나와 시영역 펄스를 실시간 도시화 가능한 8GHZ 대역폭, 20GSa/s의 샘플링 속도의 성능을 가진 디지털 오실로스코프(MSOS804A, KEYSIGHT)로 구성된다. 임펄스 발생회로는 10MHz의 정현파를 입력신호로 인가하였을 때 출력신호로는 수피코초에 해당하는 임펄스 유사 신호를 발생시키는 장치이다 [4]. 임펄스 발생회로의 구성으로는 계단복구형다이오드(step recovery diode)와 저항, 커패시터, 인덕터의 소자가 마이크로스트립선로(microstrip line)의 중간에 삽입되는 구조로 설계 결과와 방법은 참고문헌 [4],[9]에서 자세히 기술되어있다.

한편, 본 논문에서 사용된 초광대역 송수신 안테나는 시영역에서 펄스의 복사 특성을 반영하여 설계된 안테나이다 [10]. 비발디 안테나의 방사체와 급전을 하기 위한 초광대역 전송선로인 광대역 발룬을 마이크로스트립선로(microstrip line)를 사용하여 광대역에 걸쳐 지수함수적으로 임피던스를 포트단에서 입력단까지

정합하고 구조적으로는 비대칭적인 포트단에서 대칭적인 입력단까지 급전하는 구조로 설계하였다 [10]. 설계된 비발디 안테나의 제작된 안테나 형상은 그림 2에 도시화하였다.

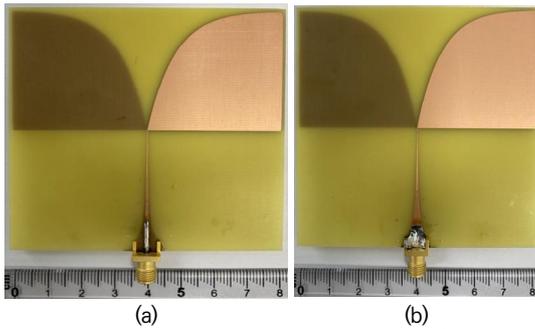


그림 2. 측정에 사용된 비발디안테나 형상[10]; (a) 안테나 윗면; (b) 안테나 뒷면

Fig. 2. Configuration of Vivaldi antenna used in experiment; (a) top side of the antenna; (b) bottom side of the antenna.

동일한 초광대역 안테나를 송신기 및 수신기에 결합하고 송신안테나에서 방사되는 임펄스신호를 수신안테나로 수신하였을 때의 임펄스 특성에 관한 연구는 참문헌 [4]에 자세히 기술되어있다.

본 논문에서는 실제로 목표물인 타겟을 설정하고 제안된 간단한 구조의 임펄스 레이더 시스템을 기반으로 하고 방사된 임펄스 신호로부터 타겟에 반사된 신호를 획득하고 타겟의 위치정보를 확인하는 것으로 제안된 임펄스 레이더 시스템의 동작되는 일련의 과정을 기술한다.

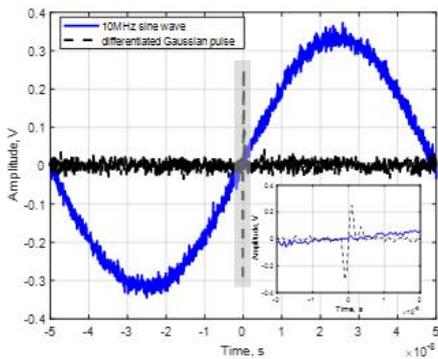


그림 3. 임펄스 발생회로의 입력 대비 출력 특성
Fig. 3. Characteristics of the impulse generator.

그림 3는 참문헌 [4],[9]에서 기술된 임펄스 발생회로의 성능을 입력신호인 10MHz의 주파수를 가지는 정현파를 인가하였을 때 출력신호를 도시화한 그래프이다. 임펄스 발생회로는 그림1에서 제안한 시스템의 함수발생기에서 발생된 신호를 임펄스 발생회로 출력단에서 측정된 것으로 출력신호는 일차 미분된 가우시안펄스 (differentiated Gaussian pulse)의 형태로 도시화되고 펄스의 폭은 약 200ps의 임펄스 유사 신호로 확인된다.

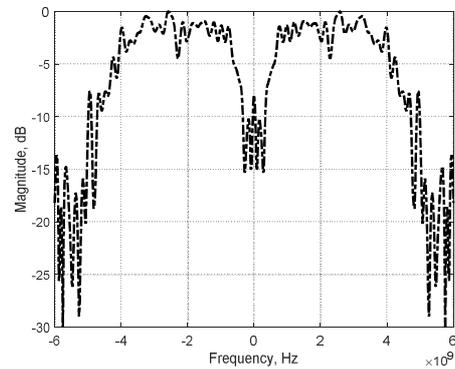


그림 4. 생성된 일차 미분된 가우시안 펄스의 주파수 영역 특성
Fig. 4. Characteristic of the generated differentiated Gaussian pulse in the frequency domain.

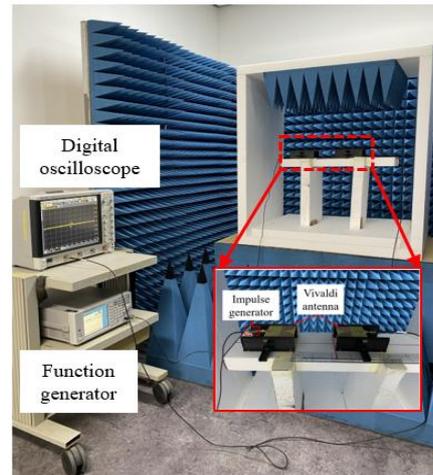


그림 5. 수신 펄스 특성을 파악하기 위한 실험 셋팅
Fig. 5. Experimental setup for evaluating received pulse characteristic.

그림 4은 발생된 일차미분된 가우시안펄스를 주파수 영역으로 도시화한 그래프이다. 그림 3에서 획득된 임펄스 발생회로의 출력단에서 획득된 신호를 푸리에 변환을 통해 주파수영역에서 확인한 결과이다. 해당하는 스펙트럼은 DC 성분에서의 크기가 거의 없고 -10dB 대역폭을 기준으로 0.3GHz에서 4.7GHz의 광대역 스펙트럼을 가지는 것으로 확인된다.

그림 5는 간단한 임펄스 레이더 시스템의 동작증명을 위해서 실험실에서 구축한 모델이다. 제안된 시스템의 송신단에서 송신된 파형을 동일한 안테나로 수신하였을 때의 파형에 대한 결과는 그림 6에 도시화하였다. 송신단을 구성하는 함수발생기에서는 10MHz의 정현파를 생성하도록 한다. 정현파는 임펄스 발생기의 입력단에 연결하여 그림 3-4에서 발생된 일차미분된 가우시안 펄스를 안테나의 입력신호로 사용된다. 입력신호는 비발디 안테나의 형상에 의존하여 공기 증으로 복사된다. 복사된 파형은 송신 안테나와 동일한 비발디 안테나로 수신되며 수신된 파형의 형태는 일차미분된 가우시안 펄스의 미분형인 가우시안 더블렛(Gaussian doublet)으로 수신됨을 확인되었다. 해당하는 펄스의 폭은 약 328ps으로 확인된다. 수신된 가우시안 더블렛을 푸리에 변환을 통해 스펙트럼에서의 특성을 살펴보면 일차미분된 가우시안 펄스의 스펙트럼 대비 peak 주파수가 약간 고주파 영역으로 이동한 것을 확인할 수 있으며 -10dB 대역폭을 기준으로 할 때의 스펙트럼대역은 0.9GHz에서 4.4GHz의 광대역화된 신호를 수신됨을 확인할 수 있다.

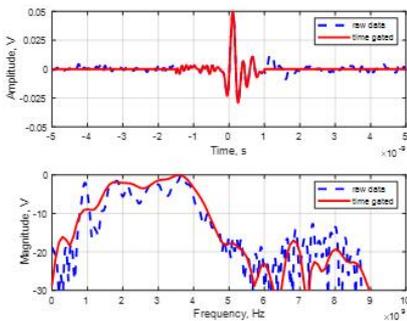


그림 6. 동일한 비발디 안테나로 수신된 펄스의 특성
Fig. 6. Characteristic of the received pulse by identical Vivaldi antennas.

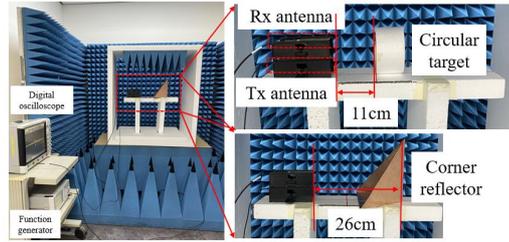


그림 7. 실 타겟 기준으로 한 임펄스 레이더 실험
Fig. 7. Real target based impulse radar experiment.

수신된 신호의 특성을 시영역과 주파수영역에서 확인하고 그림 7에서와 같이 실제 타겟을 근거로 한 임펄스 레이더 시스템의 동작을 확인하였다. 실제 타겟으로는 반경 4cm 정도의 원형 금속 물질(원기둥형상의 스티로폼 지지대에 원형금속이 결합됨)과 레이더 반사면적(radar cross section)이 큰 30cm의 정사면체에 해당하는 코너 리플렉터(corner reflector)를 그림 8에서 도시한바와 같이 실험에 사용하였다. 사송신안테나와 수신안테나는 모두 동일한 비발디 안테나를 사용하였다. 측정은 송신안테나 위에 수신안테나를 약 4cm 정도 간격을 두고 같은 위치에서 타겟의 거리를 원형 금속 물질의 경우는 약 11cm, 코너 리플렉터의 경우는 약 26cm 정도 이격하였다.

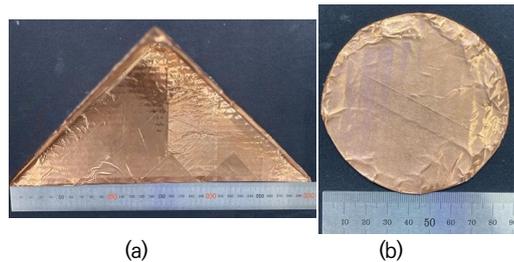


그림 8. 측정에 사용된 타겟 형상: (a) 코너 리플렉터; (b) 원형 금속 타겟
Fig. 8. Configuration of real targets used in experiment: (a) corner reflector; (b) circular shaped target.

그림 9(a)-(c)는 각각 원형 금속 타겟과 코너 리플렉터 타겟에 대한 초광대역 신호를 수신한 결과에 대한 그래프이다. 두 실험 모두 각각 두 번의 측정실험을 통해 초광대역 신호를 추출할 수 있다. 첫 번째 측정은 타겟이 존재한 상태에서 측정하고 두 번째 측정은 타겟만

제외한 상태에서 측정하는 것이다. 타겟이 존재하는 상황에서 측정된 원시신호에 타겟이 존재하지 않는 상황에서의 측정 신호를 차감하면 실제 타겟에 대한 초광대역 신호를 추출할 수 있다. 두 타겟에 대한 측정된 그래프에서 0 부근에서 초광대역 신호가 공통적으로 보인다. 이것은 송신안테나에서 방사되는 신호가 수신안테나로 바로 수신되는 펄스이고 그 이후에 타겟 신호들이 보임을 확인할 수 있다. 원형 금속 타겟 및 코너 리플렉터의 경우 약 0.33ns, 0.7ns 및 1.7ns에서 타겟 신호가 보임을 확인할 수 있다. 두 신호를 차감한 신호에서 타겟에서 반사되어 되돌아온 시간 정보를 확인할 수 있으며 이는 약 5cm, 11cm 와 26cm 정도에 실제 타겟이 있음을 확인할 수 있다. 측정 값에 기반한 위치정보와 실타겟의 위치와 차이는 약 0.5cm 정도로 이는 오차율은 5% 이내로 확인된다. 계단주파수레이더 방식에 의한 타겟 정보는 주파수영역에서의 임펄스 응답을 측정하여 역푸리에변환의 별도의 신호처리 과정이 필요로 하며 실시간으로 시영역에서의 타겟 정보를 추출하는데 시간적인 딜레이가 존재하지만 제안한 방식은 실시간으로 타겟의 위치 정보를 추출할 수 있다.

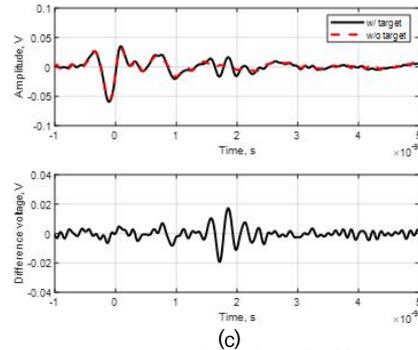
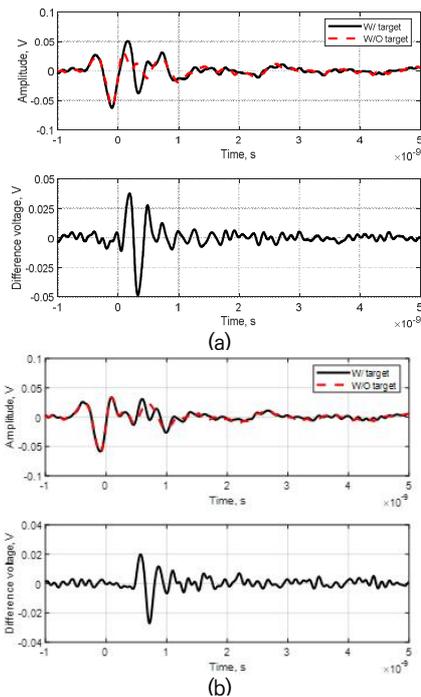


그림 9. 실제 타겟에 대한 초광대역 신호; (a) 5cm 거리의 원형 금속 물질 타겟; (b) 11cm 거리의 원형 금속 물질 타겟; (c) 26cm 거리의 코너 리플렉터 타겟

Fig. 9. Ultrawide-band signal for the real targets; (a) circular target with 5cm apart; (b) circular target with 11cm apart; (c) corner reflector with 25cm apart.

III. 결론

시영역에서 초광대역 펄스를 송수신할 수 있는 간단한 구조의 임펄스 레이더 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 구성으로 임펄스 발생 회로, 초광대역 안테나인 비발디 안테나는 실험실 단위에서 설계가 되었고 저비용으로 시스템이 구현되었다. 향후 과제로는 송신단에서 초광대역 신호를 증폭할 수 있는 RF 증폭기와 수신단에서 초광대역 신호에 대한 신호대 잡음비를 개선할 수 있는 저잡음 증폭기를 설계에 적용하여 보다 원거리에서의 타겟 정보를 추출할 수 있는 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] P. Zhang, L. Shen, Y. Chen, X. Huang and Q. Xin, "A Novel Feature Descriptor for Hyperbola Recognition in GPR Images Based on Symmetry Model," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 20, pp. 1-5, 2023.
- [2] H. Jamshidi-Zarmehri et al., "A Review on Through-Wall Communications: Wall Characterization, Applications, Technologies, and Prospects," in IEEE Access, vol. 11, pp. 127837-127854, 2023.

[3]L. Zhao et al., "UWB Radar Features for Distinguishing Humans From Animals in an Actual Post-Disaster Trapped Scenario," in IEEE Access, vol. 9, pp. 154347-154354, 2021.

[4]Doojin Lee, Muhun Park, Study on the Impulse Characteristics for applying to the Ultra-wideband Antennas, Korea Information Electron Communication Technology, 16(5), 362-368, 2023.

[5]S. Zheng et al., "A Broadband Dual Circularly Polarized Conical Four-Arm Sinuous Antenna," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 66, no. 1, pp. 71-80, Jan. 2018.

[6]X. -Y. Sun et al., "Ultrawideband Circularly Polarized Halved-Type Vivaldi Antenna With Symmetrical Radiation Pattern," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 23, no. 2, pp. 633-637, Feb. 2024.

[7]D. Lee, G. Shaker and W. Melek, A Broadband Wrapped Bowtie Antenna for UWB Pulsed Radar Applications, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 11, pp. 8033-8033, 2021.

[8]M. A. Salari, O. Manoochehri, A. Darvazehban and D. Erricolo, An Active 20-MHz to 2.5-GHz UWB Receiver Antenna System Using a TEM Horn, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 2432-2435, 2017.

[9]Lee D, Shaker G, Melek W. Development of a compact monocycle pulse generator for UWB impulse radar applications. Microw Opt Technol Lett. :62:3119-3123, 2020.

[10]Doojin Lee, Bongjin Ko, Design of Vivaldi Antenna suitable for Impulse-like Waveform Radiation, Korea Information Electron Communication Technology, 17(1), 59-66, 2024.

저자약력

이 두 진 (Doojin Lee)



* 2017. 11 ~ 2019. 6 :
University of Waterloo(UW),
Waterloo, ON, Canada :
박사 후 연구원(PostDoc)

* 2019. 6 ~ 2020. 2 :
The Ohio State University
(OSU), Columbus, OH, USA :
박사 후 연구원(PostDoc)

* 2020. 2 ~ 2020. 9 :
The University of
Mississippi, Oxford, MS, USA :
Research Associate

* 2020. 10 ~ 2022. 9 :
국방과학연구소 선임연구원

* 2022. 10 ~ 현재 :
국립창원대학교 조교수

〈관심분야〉 초광대역 안테나 설계