

I/Q 채널을 이용한 연속파 레이더의 표적 접근/후퇴 신호처리

조춘식

Signal Processing of the Continuous-Wave Radar for Approach and Retreat of Targets Using I and Q Channels

Choon Sik Cho

요 약

본 논문은 I/Q 채널을 다 이용하여 표적의 후퇴와 접근을 감지하는 연속파 레이더의 신호처리에 대하여 분석한다. 표적이 레이더로부터 접근 혹은 후퇴할 때 Quadrature 신호의 위상이 달라지는 것을 이용하여 물체의 후퇴와 접근을 감지하며, 상용 MMIC 칩과 MCU를 이용하여 모듈을 구현하고, MMIC로부터 나온 수신데이터를 분석하여 검증하였다. 또한 사람을 대상으로 접근, 후퇴하는 동작에 대한 신호처리를 MCU를 사용하여 확인하였다. 사용한 주파수는 24.125GHz이며, 송신기 출력전력은 7.2 dBm이다. 실제 구현한 레이더로 최대 검출가능거리는 약 12m를 달성하였다.

Key Words : continuous radar; signal processing; I/Q channels; approach and retreat; targets;

ABSTRACT

This letter presents the signal processing of a CW radar (Continuous Wave or Doppler radar) sensor which enables the radar to detect the multiple targets' approaching and retreating using both I and Q channels. The proposed algorithm utilizes the phase change of the Quadrature signal, which occurs when targets move back and forth from the radar. The verification is carried out with the board containing a commercially available MMIC chip and an MCU by analyzing the received data from MMIC. Also the proposed algorithm is downloaded to MCU and the approaching and retreating movement is confirmed. The CW frequency is 24.125 GHz and the transmitter output power used is 7.2 dBm. Detectable distance is about 12 m.

I. 서 론

CW radar는 Doppler 효과를 이용한 레이더이다. 펄스 변조가 되지 않은 사인파를 송수신하는 레이더로 순수한 사인파로는 거리측정이 힘들기 때문에 주파수 변조를 가하는 경우가 많다. 하지만 한 목표의 도플러 효과, 즉 속도를 검출하기 위해서는 CW 레이더가 유용하다. FMCW radar에 비해 주파수변조를 할 필요가 없기 때문에 하드웨어가 간단해지며 저전력 구조로 동작할 수 있다. 본 논문은 CW 레이더에서 후퇴와 접근에 대하여 상세한 신호처리 과정을 분석하고, 레이더 모듈을 구현하여 측정 및 실험을 통하여 이러한 신호처리 과정을 검증하였다.

II. 연속파 레이더

도플러 효과는 파동을 발생시키는 파원과 그 파동을 관측하는 관측자 중 하나 이상이 운동 즉 움직임이 있을 때 발생하는 효과이다. 즉 파원과 관측자 사이의 거리가 가까워질 경우 주파수가 높아지고, 반대로 멀어질 경우에는 주파수가 낮아진다. 하지만 동일한 한 시점에 두 물체가 같은 속도로 한 물체는 멀어지고 나머지 한 물체는 가까워진다고 가정하면, 수신기 입장에서는 물체가 가까워지는지 멀어지는지 판별할 수 없다. 때문에 In-phase와 Quadrature-phase를 모두 이용하여 위 문제를 해결한다 [1]. 이에 따라 CW 레이더를 이용하여 접근 및 후퇴를 감지하기 위한 모듈을 그림 1에 나타내었다. MMIC에서는 CW 신호를 발생시키고, 물체에 맞고 반사된 수신신호를 I와 Q로 복조하여 MCU의 DSP단으로 넘겨주는 역할을 한다 [2].

※ 본 연구는 DD지원으로 수행하였음.

한국항공대학교 항공전자정보공학부 고주파회로연구실 (cscho@kau.ac.kr)

접수일자 : 2017년 01월 13일, 최종게재확정일자 : 2017년 02월 24일

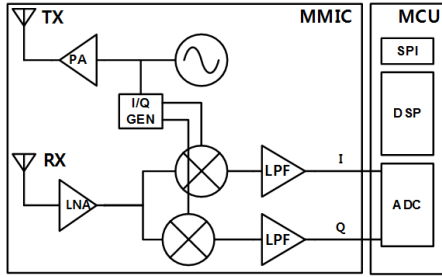


그림 1. I/Q 송수신기를 사용한 연속파 레이더 모듈

기본적으로 Cosine과 Sine함수는 Exponential 함수와 허수를 이용하여 주파수 축에서 표현할 수 있다. 멀어지거나 가까워지고 있을 경우, Mixer를 통과한 최종 출력의 Quadrature phase의 값은 각각 식(1)과 식(2)로 나타낼 수 있다. 위 식을 복소 주파수 도메인에서 살펴보면 Q값의 Phase차이는 180도라는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 멀어질 경우 Q의 위상이 I의 위상보다 90도 앞서고, 반대로 가까워질 경우 I의 위상이 Q의 위상보다 90도 앞서게 된다 [3].

$$Q_{Retreat} = j \frac{e^{-j2\pi f_d t}}{2} + (-j) \frac{e^{j2\pi f_d t}}{2} \quad (1)$$

$$Q_{Approach} = -j \frac{e^{-j2\pi f_d t}}{2} + j \frac{e^{j2\pi f_d t}}{2} \quad (2)$$

그림 2는 접근과 후퇴 시 I,Q 채널에서 신호의 연산을 복소 주파수 좌표계에서 나타낸 것이다. 물체의 시선속도가 양수인지 음수인지 판단하기 위해서는 I+jQ, I-jQ 연산을 수행해야 한다. 후퇴하는 물체의 경우 시선속도는 음수가 되고, I+jQ를 할 경우 복소주파수 domain에서 양의 주파수가 나오게 된다. 접근하는 물체의 경우는 I-jQ를 할 경우 양의 주파수가 나오게 된다. 반대로 음의 시선속도의 물체를 I-jQ를 할 경우와 양의 시선속도의 물체를 I+jQ 할 경우에는 음의 주파수가 나오고, 양의 주파수 성분은 0이 되는 것을 알 수 있다.

이를 바탕으로 접근과 후퇴를 보다 정확하게 처리하기 위

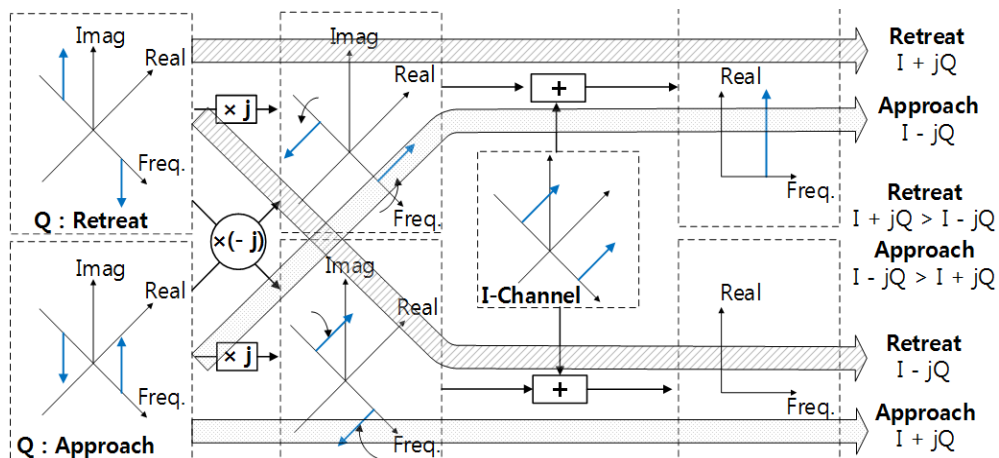


그림 2. 접근과 후퇴 신호처리를 위한 복소수 주파수 영역 해석

한 절차를 그림 3에 나타나있다. 레이더 송수신기를 On시키게 되면 송신안테나에서 전파를 발생시키고, 물체에 반사되어 수신안테나로 들어온다. IQ Mixer를 통해 하향 변환된 신호가 각각의 I,Q채널에 나타나고, MCU 모듈의 ADC를 통해 I,Q 데이터로 샘플링 및 Digitizing 된다. 다음에 I+jQ, I-jQ를 수행하고 각각을 FFT 한 결과 값을 저장한다. 만약에 후퇴하는 물체였다면 I+jQ의 크기가 I-jQ의 크기보다 클 것이므로 후퇴한다는 것을 판단할 수 있다. 반대로 접근하는 물체라면 I-jQ의 크기가 크다는 것을 알기 때문에 접근한다고 판단할 수 있다. 실제로 실험 환경에서는 후퇴할 경우 파란색 LED를 켜고, 접근할 경우 붉은색 LED를 켜는 것으로 확인을 하였다.

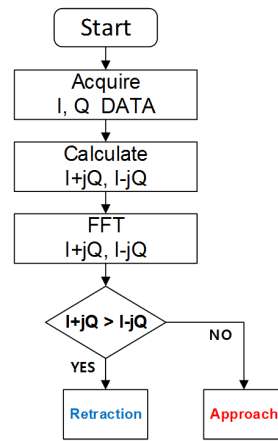


그림 3. 레이더 신호처리

III. 측정결과

레이더 모듈과 측정환경은 그림 4에 나타내었다. MMIC 칩셋은 Viasat SC3001 모듈을 사용하였다. 측정환경은 실내 공간에서 약 12m를 진행하였고, 물체는 사람(RCS = 0.05 m2) 및 알루미늄 판 (RCS = 0.25 m2)을 이용하였다.

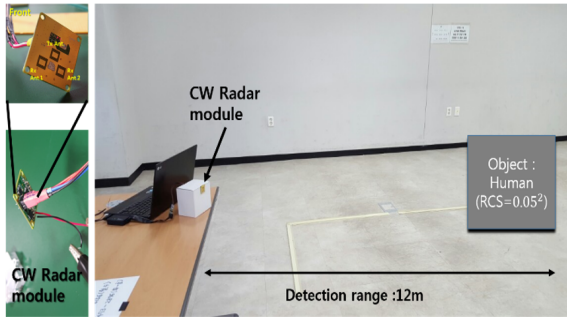


그림 4. 제작한 레이더 모듈 및 측정환경

표 1은 연속파 레이더에 사용된 파라미터를 나타낸다. 동작 주파수는 24.125GHz이고, 송신 출력전력은 7.2dBm이다. 또한 감지 가능 거리는 12 m이고 속도 분해능은 0.2 m/s이다.

표 1. 연속파 레이더 파라미터

중심 주파수	24.125 GHz
검출 거리	12 m
속도 분해능	0.2 m/s
송신 전력	7.2 dBm

MMIC의 I,Q 신호 즉, MCU로 입력되는 Raw data를 이용하여 측정한 결과와 이를 FFT한 결과를 그림 5 및 그림 6에 나타내었다. 접근하는 물체의 경우 그림 5에 나와 있으며 Q-channel의 위상이 I-Channel의 위상보다 90도 앞서는 것을 확인할 수 있다. 따라서 I+jQ의 크기가 I-jQ의 크기보다 큰 것을 볼 수 있다. 또한 도플러 주파수는 220Hz이므로 1.5m/s의 속도로 접근한다는 것을 알 수 있다.

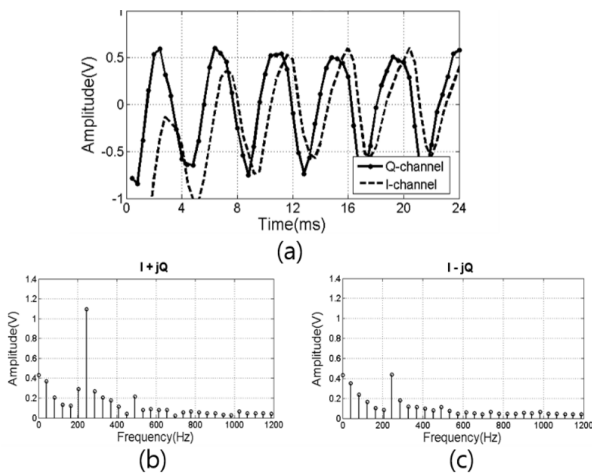


그림 5. 접근하는 물체의 수신신호 측정결과
 (a) : 시간축에서 I-Q 수신신호 측정결과
 (b) : I+jQ의 FFT결과
 (c) : I-jQ의 FFT결과

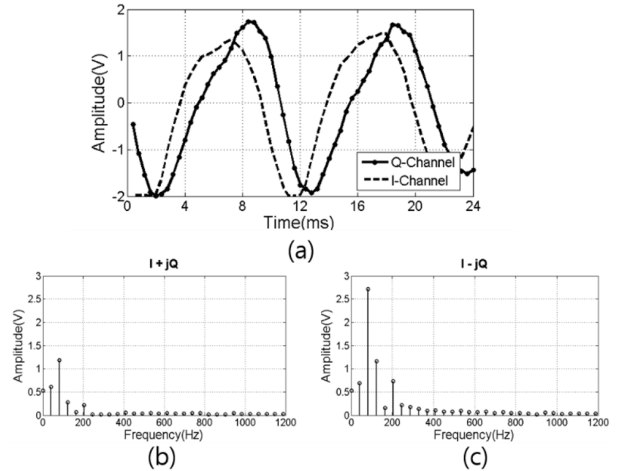


그림 6. 후퇴하는 물체의 수신신호 측정결과
 (a) : 시간축에서 I-Q 수신신호 측정결과
 (b) : I+jQ의 FFT결과
 (c) : I-jQ의 FFT결과

그림 6에서 후퇴하는 물체의 경우에는 위와 반대로 I-채널의 위상이 Q-채널의 위상보다 90도 앞서는 것을 알 수 있다. 80Hz의 도플러 주파수를 갖고 있으므로 0.5m/s의 속도로 후퇴한다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

연속파 레이더의 송수신기를 통하여 획득한 Raw data를 이용하여 FFT를 수행하여 표적의 접근과 후퇴를 정밀하게 검증하였다. 또한 레이더 모듈의 동작을 검증하기 위해 사람과 철판을 이용하였다. 위 물체(사람, 철판)들이 모듈을 향해 접근 혹은 후퇴를 한 결과 약 90%이상 동작의 성공을 확인하였다. RCS가 0.25m²인 철판은 검출가능거리는 Line of sight기준으로 약 12m. 사람의 경우 약 6m이다. 방위각이 45도에서는 각각 절반인 6m, 3m까지 검출가능 하다.

CW Radar를 이용하여 간단한 하드웨어 구조임에도 불구하고 접근 및 후퇴 그리고 속도를 검출하는데 위의 알고리즘 및 모듈로 검증하였다.

참고 문헌

[1] L. Griffiths, "Comparison of quadrature and single-channel receiver processing in adaptive beam forming," IEEE Trans. Antennas. Propag., vol. 25, no. 2, pp. 209-218, Mar. 1977.
 [2] C. Gu and C. Li, "DC coupled CW radar sensor using fine-tuning adaptive feedback loop," Electron. Lett., vol. 48, no. 6, pp. 344-345. Mar. 2012.
 [3] N. Boutin, "Complex Signals," RF Design, Dec. 1989.

저자

조 춘 식(Choon Sik Cho)

정회원



- 1987년 2월 : 서울대학교 제어계측 공학과(공학사)
- 1995년 12월 : 미국 University of South Carolina 전자공학과(공학석사)
- 1998년 12월 : 미국 University of Colorado at Boulder 전자공학과 (공학박사)

· 2004년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수

<관심분야> : RFIC, 안테나, 아날로그집적회로, 레이더, 의료기기