

다목적활용을 위한 재구성이 가능한 다중대역 FMCW 레이다

A Reconfigurable Multiband FMCW Radar for Multipurpose Application

김병준 · 구종섭 · 김덕수 · 남상욱

Byungjoon Kim · Jong-seop Koo · Duksoo Kim · Sangwook Nam

요 약

최근 레이다 관련 소재기술, 회로설계기술, 구조설계기술에 관하여 기술적 진보가 있었다. 그 결과, 레이다의 성능은 향상되었으며, 단가는 감소하였다. 그에 따라 레이다를 다양한 목적으로 활용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 본 연구에서는 재구성이 가능한 S대역과 X대역에서 동작하는 레이다 구조를 제안하고 구현하였다. 51.2 cm×50.6 cm 크기를 가지는 표적을 2 m부터 6 m까지 0.25 m 단위로 이동하며, 각 위치에 대하여 10회 측정하였다. 측정결과, S대역에서는 최대 26.40 cm의 거리오차를 가졌으며, 거리오차평균은 5.63 cm, 거리오차분산은 0.24 cm을 가졌다. X대역에서는 최대 8.53 cm의 거리오차를 가졌으며, 거리오차평균은 2.52 cm, 거리오차분산은 0.04 cm을 가졌다.

Abstract

Recently, there have been advancements in radar related material technology, circuit design techniques and architecture design techniques. These have led to developments in radars' performance while decreasing the costs. Many studies have been carried out to apply radars to multipurpose application. In this study, a reconfigurable S-/X- band radar structure for multipurpose application is proposed and implemented. This radar measures a 51.2 cm×50.6 cm target for 10 times from 2 m to 6 m range with 0.25 m distance step. The measured results show that this radar has 26.40 cm maximum range error, 5.63 cm average range error, and 0.24 cm range error variance at S-band while it has 8.53 cm maximum range error, 2.52 cm average range error, and 0.04 cm range error variance at X-band.

Key words: FMCW, Multiband, Multipurpose Application, Reconfigurable

I. 도 입

최근 레이다구조기술, 소재기술, 회로설계기술이 급성장하면서 레이다의 성능은 크게 향상되었으며, 단가는 오히려 감소하였다. 그에 따라 레이다를 다양한 목적에 활용하기 위한 연구가 활발하다^{[1]~[4]}. 특히, FMCW(Frequency-Modulated Continuous wave) 레이다에 관한 연구가 많이 진행되고 있는데, FMCW 레이다의 경우, 높은 수신민감

도를 가지고 있으며, 광대역 신호를 사용하더라도 긴 송출시간을 가지므로 펄스레이다에 비해 작은 최대 출력신호를 송출하면서 같은 평균 송출전력을 낼 수 있다. 또한, RF단에서 광대역 신호를 사용하더라도 낮은 샘플속도의 ADC(Analog-Digital Converter)를 이용해 신호처리할 수 있다는 장점이 있어서 고해상도 벽투과응용, 실내 표적 정밀 포지셔닝 응용에 사용될 수 있다^{[2]~[4]}. 또한, 저주파 수 대역을 활용한 원거리 표적탐지와 고주파수 대역을

「이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0083495).」

서울대학교 뉴미디어연구소 & 전기컴퓨터공학과(INMC & Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University)

· Manuscript received October 16, 2015 ; Revised November 11, 2015 ; Accepted November 30, 2015. (ID No. 20151016-079)

· Corresponding Author: Byungjoon Kim (e-mail: bjkim@ael.snu.ac.kr)

활용한 고해상도 획득을 위한 이중대역 레이더에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다^{[5],[6]}. 본 연구에서는 재구성이 가능하며, 이중대역, 광대역을 사용하는 고정밀 FMCW 레이더 구조를 제안하고 구현 및 측정하였다. 단락 II에서 제안하는 구조에 대한 설명을 하며, 단락 III에서 측정결과를 제시하고, 단락 VI에서 결론을 맺는다.

II. 재구성이 가능한 이중대역 FMCW 레이더

본 연구에서 제안하는 구조는 그림 1에 나타나 있다. 소스부분은 TI사의 LMX2492 소자 및 평가보드를 이용하여 노트북으로 컨트롤이 가능한 X대역 칩신호를 얻었다. 생성한 X대역 신호와 분주비를 선택할 수 있는 분주기(HMC861 소자)를 이용하여 S/X 대역 칩신호를 선택적으로 생성할 수 있게 구성하였다. 결과적으로 9.0~10.4 GHz 혹은 3.0~3.46 GHz 주파수 범위 안에서 원하는 주기와 원하는 주파수를 가지는 칩신호생성부를 얻었다. 생성된 칩 신호는 대역선택 스위치를 통과 후 필터를 거쳐 안테나를 통해 송신되는 동시에 광대역 버퍼를 통해 증폭된 후 혼합기의 LO 포트에 들어가게 되고, 레이더가 수신한 신호와 함께 혼합되어 비트주파수 신호 및 고조파 신호들을 생성한다. 혼합기에서 생성된 신호들은 여과된 후 계측기로 들어가게 되고, 비트주파수는 합당한 거리정보

로 변환되게 된다. 위 과정에서 비트주파수 신호를 얻기 위하여 생성한 칩신호를 송신하는 동시에 수신기의 혼합기에도 입력해야 하므로, S대역과 X대역 두 대역에서 광대역으로 동작하며, 저손실의 평평한 손실특성을 가지는 커플러가 요구된다. 본 연구에서는 커플러를 사용하는 대신 분주기의 차등출력구조를 이용했다. 이론상 송신신호와 수신신호의 위상이 일정하게만 차이난다면 비트주파수 신호 생성에 문제가 없으므로 차등출력의 한 출력을 송신으로 이용하고, 다른 출력을 수신으로 이용하였다.

근거리 표적을 탐지하는 경우, 칩신호주기에 비해 표적에 맞고 돌아오는 신호의 시간이 매우 짧다. 그럴 경우, 진폭의 오차가 신호품질을 감소시키고, 측대파의 크기를 증가시킨다^[7]. 그러므로 혼합기와 필터 및 RF 회로에 의한 진폭의 변화를 작게 할 수 있는 설계기법을 사용하였다. 사용한 혼합기의 경우, 높은 LO 신호레벨을 요구하므로 LO 포트 드라이빙을 위해 생성한 신호를 증폭하여 입력하였다. 여기서 광대역 증폭기를 사용하더라도 증폭기의 이득이 대역에 따라 감소할 수 있다. 또한, 바이어스 회로 구성 시 사용하는 DC 블락 캐패시터에 의해 진폭의 변조가 있을 수 있다. 그러므로 LO 포트 드라이빙을 위한 최종 증폭기를 포화영역에서 동작시키는 방법으로 최종 증폭기 앞단에서 발생한 진폭의 변조로 인한 LO 신호레

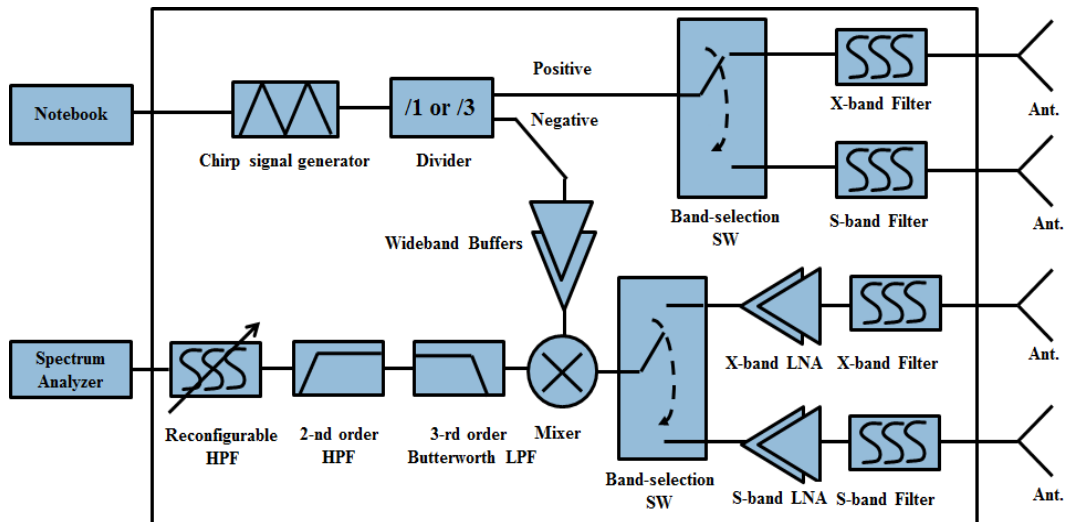


그림 1. 제안하는 재구성 가능한 이중대역 FMCW 레이더 구조
Fig. 1. A proposed reconfigurable dual-band FMCW radar architecture.

벨의 변화를 최소화했으며, 동시에 LO 포트 인가 신호 크기를 충분히 크게 하여 혼합기가 LO 신호레벨의 변화에 의한 이득의 변화를 둔감하게 하였다. 동시에 DC 블락 캐패시터를 엄중히 선정하였으며 최종적으로 0402 사이즈의 100 pF 캐패시터를 사용하였다. 필터의 구성은 더욱 중요하다. 송신 시에도 필터에 의한 진폭의 변조가 발생하고, 수신 시에도 필터에 의한 진폭의 변조가 발생하기 때문이다. 필터는 체배주파수 신호를 충분히 감쇄시키고, 사용대역에서 최대한 평평한 손실을 가질 수 있게 설계하였다. 이를 위하여 기존에 제안된 결합선로를 이용한 광대역 DC block 필터설계기술^[8]을 응용하여 설계하였다. 그 결과, S대역 필터는 동작영역에서 ± 0.2 dB의 손실 진폭 변화를 얻었으며, X대역 필터는 동작영역에서 ± 0.55 dB 손실진폭 변화를 얻었다.

또, 다른 고려사항으로 안테나 간 누설전력문제가 있다. 근거리탐지 FMCW 레이더의 경우, 송신과 수신이 동시간에 이루어지기 때문에 안테나 간 커플링에 의하여 송신신호가 수신기로 넘어간다. 이런 신호는 증폭기를 포화시키거나 비선형성에 의한 허위신호를 생성할 수 있다. 본 레이더에서는 저잡음증폭기는 포화레벨이 높고, 고선형성을 가지는 소자를 이용했으며, 혼합기 뒷단에서 2번에 걸친 고대역통과필터를 이용해서 제거했다. FMCW 레이더의 특성상 혼합기 뒷단에서 표적과 누설전력에 의해 생성된 비트주파수신호가 서로 다르기 때문에 고차 고대역통과필터를 이용하여 제거할 수 있다.

III. 레이더 실험 및 분석

레이더시스템의 구현 사진은 그림 2에, 실험구성 사진은 그림 3에, 측정결과는 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 혼 안테나를 이용했으며, 스펙트럼 계측기를 통해 비트주파수를 측정하였다. 실험장소는 길이 방향으로 최대 7 m 인 실내였으며, 표적의 크기는 51.2 cm×50.6 cm였다. S대역, X대역 두 대역에서 2 m에서 6 m까지 표적을 0.25 m 간격으로 이동시키며 측정했으며 총 10회의 측정을 수행하였다. S대역은 3.1~3.4 GHz의 칩대역폭을 가지며, 50 us의 업, 다운시간(총 100 us)을 가지는 조건에서 측정했으며, X대역은 9.0~10.0 GHz의 칩대역폭을 가지며, 50 us

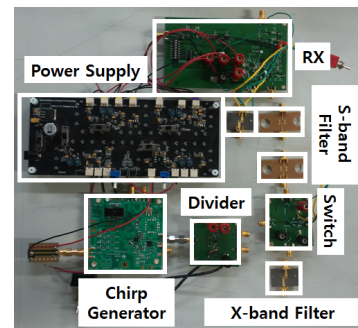


그림 2. 재구성이 가능한 이중대역 FMCW 레이더
Fig. 2. A reconfigurable dual-band FMCW radar.

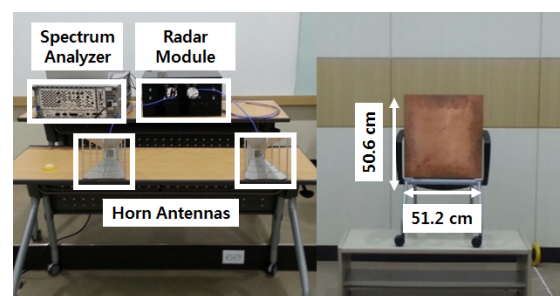


그림 3. 레이더 실험구성과 표적
Fig. 3. A radar measurement setup and a target.

의 업, 다운시간(총 100 us)을 가지는 조건에서 측정했다.

S대역은 이론상 0.25 m당 10 kHz의 주파수 변화를 가져야 하며, X대역은 이론상 0.25 m당 33.3 kHz의 주파수 변화를 가져야 한다. 1회 측정에서 S대역 측정 시 비트주파수가 151.6 kHz(2 m 표적)에서 308.6 kHz(6 m 표적)까지 변화하였으며 X대역 측정 시 비트주파수가 470 kHz(2 m 표적)에서 1,020 kHz(6 m 표적)까지 변화하였다. FMCW 레이더는 내부지연(증폭기 지연, 전송선로 지연, 필터지연 등)시간과 표적에 신호가 되돌아오는 시간의 합에 해당되는 주파수신호가 출력으로 나오게 되므로 내부지연시간을 고려해서 레이더 출력신호를 거리로 환산해야 한다. 본 연구에서는 1회 측정결과를 바탕으로 내부지연시간을 구하였다. S대역에서는 내부지연시간이 11.51 nsec으로 계산되었으며, X대역에서는 10.55 nsec으로 계산되었다. 이를 감안하여 10회 측정결과를 거리로 환산하였으며, 이를 그림 4(S대역)와 그림 5(X대역)에 실제 표적 위치대비 측정거리로 나타내었다. 그림 4와 그림 5를 살

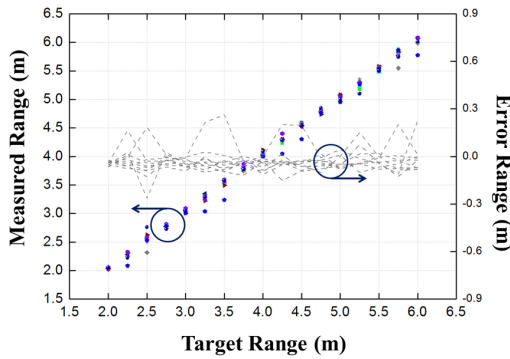


그림 4. 거리측정 결과(S대역)
Fig. 4. Range measurement results(S-band).

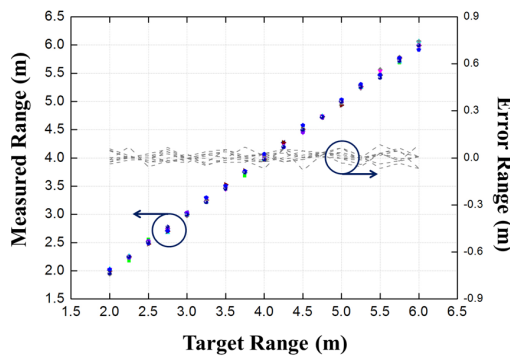


그림 5. 거리측정 결과(X대역)
Fig. 5. Range measurement results(X-band).

펴보면 두 대역 모두에서 실제위치 대비 레이다 측정거리가 잘 일치함이 보인다. S대역에서는 최대 26.40 cm의 거리오차를 가지며, 거리오차 평균 5.63 cm, 거리오차 분산 0.24 cm를 가진다. X대역에서는 최대 8.53 cm의 거리오차를 가지며, 거리오차 평균 2.52 cm, 거리오차 분산 0.04 cm를 가진다. S대역보다 X대역에서 거리오차가 작은 것은 X대역에서 사용한 칩대역폭이 넓고 이에 따라 거리방향해상도가 더 높은 것에서 기인한다고 생각할 수 있다. S대역의 이론적 거리방향해상도는 50 cm, X대역의 이론적 거리방향해상도는 15 cm이다. 실제 측정결과, 단일 표적에 의한 비트주파수 신호의 3 dB 대역폭은 S대역은 56 cm, X대역은 21 cm에 해당하였다.

IV. 결 론

재구성이 가능한 이중대역 FMCW 레이다 구조를 제안

하고 구성하여 측정결과를 나타내었다. 실내에서 51.2 cm×50.6 cm 크기를 가지는 표적을 2 m에서 6 m까지 0.25 m 단위로 이동하며 10회 측정한 결과, S대역에서는 최대 26.40 cm의 거리오차, 거리오차 평균 5.63 cm, 거리 오차 분산 0.24 cm를 가졌으며, X대역에서는 최대 8.53 cm의 거리오차, 거리오차 평균 2.52 cm, 거리오차 분산 0.04 cm를 가지는 것으로 나타났다. 두 대역 모두 높은 정확도를 가지고 표적의 거리를 측정하는 데 성공하였다.

References

- [1] Y. Lim, S. Nam, "Target-to-clutter ratio enhancement of images in through-the-wall radar using a radiation pattern-based delayed-sum algorithm", *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 14, no. 4, pp. 405-410, Dec. 2014.
- [2] G. L. Carvat, L. C. Kempel, E. J. Rothwell, C. M. Coleman, and E. L. Mokole, "A through-dielectric radar imaging system", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 8, pp. 2594-2603, Aug. 2010.
- [3] Y. Yang, A. E. Fathy, "See-through-wall imaging using ultra wideband short-pulse radar system", in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, pp. 334-337, 2005.
- [4] B. Waldman, et al., "Pulsed frequency modulation techniques for high-precision ultra wideband ranging and positioning", in *Proc. IEEE ICUBW*, pp. 133-136, Sep. 2008.
- [5] 곽은혁, 이용승, 김부균, "개구면 공유 구조를 가지는 S/X 이중 광대역 패치 안테나의 방사특성", *한국전자과학회논문지*, 26(8), pp. 718-729, 2015년 8월.
- [6] B. Kim, et al., "A dual-band FMCW radar for through-wall detection", in *Proc. IEEE The 5-th APSAR*, Sep. 2015.
- [7] H. D. Griffiths, "The effect of phase and amplitude errors in FM radar", in *IEE High Time-Bandwidth Product Waveforms in Radar Sonar Collq.*, London, U.K., pp. 9/1-9/5, 1991.
- [8] B. Kim, et al., "Design of wideband coupled line DC block with compact size", *IEICE Trans. Electron*, vol. E97.C(9), pp. 915-917, 2014.