

## 위성 SAR 시스템용 칩 파형의 위상 보상 연구

김경록, 김재현 (아주대학교)

{nowhere1104, jkim}@ajou.ac.kr

## Research on phase calibration of chirp waveform for spaceborne SAR

Kyeongrok Kim and Jae-Hyun Kim (Ajou University)

## 요약

본 논문은 위성용 SAR 파형발생기에 적합한 칩 파형의 생성 조건을 분석하고, 이를 만족하는 위상 보상을 수행한다. 위성 SAR는 운용 환경과 시스템의 제약 조건이 열악하여 엄격한 부품 규격을 요구한다. 기본 칩 파형과 다항회귀 보상 적용 파형을 실험하였으며 각각에 대한 품질을 비교하였다. 대역폭 500 MHz를 만족하는 하드웨어 출력에서 칩 파형 위상의 폭은 약 20도, 분산과 표준 편차가 각각 6.02도, 2.45도로 위상 에러가 있는 칩 파형보다 95 %, 77 % 개선됨을 확인하였다.

## I. 서론

최근 저궤도 통신위성의 군집 운용이 각광 받으면서 소형 SAR 단일 탑재에 대한 연구가 활발하다. SAR의 분해 능력은 대역폭에 비례하는데, 넓은 대역의 출력을 위해서는 높은 시스템 클럭이 요구된다. 또한 파형 출력 시 시스템의 불안정성 등으로 인해 위상 에러가 발생하는 문제가 있다. 본 논문에서는 비교적 낮은 하드웨어 성능으로도 넓은 대역의 출력이 가능한 MDDS 방식을 이용한 칩 파형의 위상과 하드웨어 잡음, 지터에 대한 보상을 수행한 파형의 위상을 측정 및 비교하였다.

## II. 위성 SAR 시스템 제한사항 분석

위성 SAR는 발사 이후에 수정이 불가하며 열악한 운용 환경으로 인해 군급 혹은 우주급의 부품을 요구한다. 또한 단일 탑재체로 운용되는 저궤도 소형 위성의 경우에는 하드웨어의 크기와 무게를 줄이는 것이 핵심 기술이다 [1]. 저궤도 소형위성의 경우 총 중량이 150 kg ~ 260 kg 급으로 중형 위성 대비 30 % 내이다. 본 논문에서는 총 무게 4 kg 미만으로 개발된 칩 파형발생 및 RF 변조기를 이용하여 신호를 출력하였으며, 위성 SAR 파형의 요구조건인 위상 분산 10 이내, 표준 편차 5 이내 [2]를 만족하도록 위상 보상을 수행하였다.

## III. 칩 파형 위상 측정 및 비교

FPGA는 Kintex-7 XC7K325T 모델을 이용하였으며, 위상 측정에는 Keysight 상의 89600 VSA를 사용했다. 그림 1은 기본적인 파형 출력의 위상 (파란색)과 위상 에러가 보상된 값 (빨간색)의 비교를 나타낸다. 먼저 기본 MDDS 출력에서의 위상 에러를 측정한다. 측정된 에러를 기반으로 최대 에러를 갖는 구간을 분리하여 각각에 다항회귀 블록을 설계한다. 다항회귀에서 2차 이상은 성능 대비 연산량 증대 비효율 [2]로 2차 회귀를

표 1. 위상 보상 전, 후의 위상 측정 값

Phase error	위상 보상 전 (deg.)	다항회귀법 (deg.)
Min.	-52.0241	-11.0615
Max.	104.7356	9.6198
Mean	3.2789	0.0002
Var.	122.3701	6.0248
Std.	11.0621	2.4546

사용하였다. FPGA 내 위상 누적단에 다항회귀 블록을 적용함으로써 위상 에러를 최소화한다.

표 1은 위상 보상을 적용하기 전과 후의 위상 에러의 분석을 나타낸다. 위상 에러 그래프에서 특히 peak 값들이 대부분 제거되어 전체적으로 큰 폭으로 에러가 줄어든 것을 확인하였다. 시뮬레이션 상에서 이상적인 파형을 생성했어도 하드웨어의 진동 등에 의한 위상 에러의 폭은 156도로 측정되었다. 다항회귀를 이용한 위상 보상 후에는 에러 폭이 20도로 측정되어 약 13 %로 감소되었다. 그 외에 위상 에러의 분산은 122도에서 6도, 표준 편차는 11도에서 2.4도로 감소하여 기존보다 95 %, 77 %의 성능 개선을 나타냈다.

## IV. 결론

본 논문에서는 위성 SAR에 적용하기 위해 고사양의 안정적인 파형을 생성하기 위한 위상 보상 방안을 연구하였다. 기존 에러가 있는 칩 파형의 구간 별로 위상 에러를 보상하는 다항회귀 블록을 추가하여 에러를 보상하는 방법을 사용하였다. 측정 결과로 위상 에러의 폭이 약  $\pm 10$ 도로 측정되었으며, 분산과 표준 편차가 요구사항을 만족하도록 설계됨을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2021-2018-0-01424)

## 참고 문헌

- [1] K. Kim and J. H. Kim, "Polynomial regression prdistortion for phase error calibration in X-band SAR", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, pp. 1-5, Oct. 2020.
- [2] J. Curlander and R. McDonough, "Synthetic Aperture Radar - Systems & Signal Processing," John Wiley & Sons, Inc., 1991.

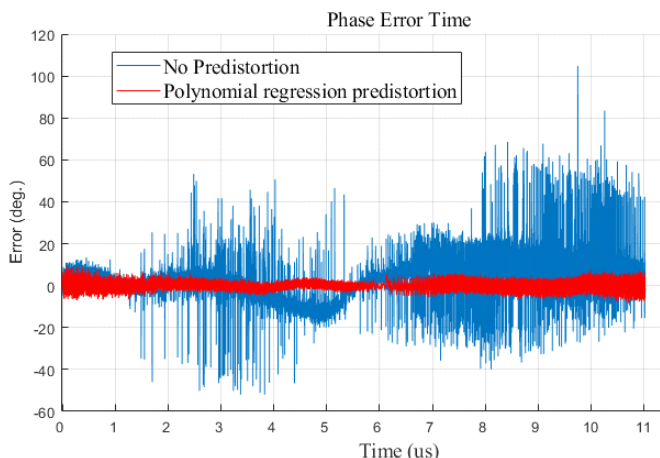


그림 1 위상 보상 적용 결과