

경향성 분석 기반의 위성탑재 영상레이다 원격 측정 데이터 축소 기법

이호창*, 이현익**¹, 이아림**², 김세영**³, 성진봉**⁴

SAR Payload Telemetry Data Reduction Techniques based on Trend Analysis

Hochang Lee*, HyonIk Lee**¹, Arim Lee**², Seyoung Kim**³, and Jinbong Sung**⁴

요 약

영상레이다는 레이더 신호를 기반으로, 지상 영상 정보를 획득할 수 있는 장비이다. 위성탑재 영상레이다는 발사 이후, 위성에서 전송되는 원격 측정정보만을 기반으로 위성의 상태를 확인할 수 있다. 기존의 시스템들은 저장 공간의 한계 및 지상 전송 시간 제약으로 인해, 수집된 원격 측정 정보를 모두 내리지 않고, 선별된 일부 항목에 대해 수집된 주기보다 큰 주기를 갖도록 구현해 지상으로 전송하였다. 본 연구에서는 수집된 원격 측정 정보의 경향성 분석에 기반을 둔 데이터 축소 알고리즘을 제안한다. 이를 위해, 수집된 각 원격 측정 정보의 값 변화량을 분석하고, 해당 변화량 정보를 기반으로 데이터를 구조화하여 지상으로 전송하였다. 본 알고리즘을 여명-황혼(Dawn-dusk)저궤도 영상레이다의 평시 원격 측정 정보에 적용할 경우, 50% 이상의 데이터 크기 축소가 가능하였다. 축소된 데이터는 저장 공간 및 지상 전송시간에 이점을 가지며, 지상에서는 이를 복원하여 위성이 수집한 모든 원격 측정 정보를 확인할 수 있다.

Abstract

SAR(Synthetic Aperture Radar) is a equipment that acquire ground image scene using radar signal. After launch, it is only possible to check SAR Payload health status based on telemetry data transmitted to ground station. In the previous systems, only dedicated telemetries with coarse resolution are transmitted because of insufficient memory size and link access time. In this paper, we propose novel algorithm of the SAR telemetry reduction based on trend analysis. We analyze acquired telemetry value trend and make a structure based on this information. Our algorithm makes over 50% data size reduction result based on SAR telemetry data in nominal operation of dawn-dusk low earth orbit. Reduction data has advantage to store size and data transmission time and ground station an restore and check whole acquired telemetry data.

Keywords

satellite, synthetic aperture radar, telemetry, trend analysis,

* 국방과학연구소 연구원(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1463-5483>
** 국방과학연구소 연구원
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-8410-4557>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-9931-9921>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-5112-3524>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-5028-0990>

• Received: Nov. 21, 2021, Revised: Jan. 27, 2022, Accepted: Jan. 30, 2022
• Corresponding Author: Hochang Lee
Defense Space Technology Center, Agency for Defense Development, YuSeong
P.O. Box 35, Daejeon, 34186, Korea
Tel.: +82-42-821-0632, Email: hclee0126@add.re.kr

1. 서 론

영상레이더는 레이더 신호를 기반으로 주·야간 및 기상 상태와 무관하게 전천후로 지상 영상을 획득할 수 있는 장비이다[1]. 국내에서는 2000년대 이후 항공기 탑재 영상레이더 개발이 진행되기 시작하였으며, 최근에는 다목적 위성 및 군 정찰위성 등을 통해 우주 환경에서 동작하는 위성용 영상레이더 개발이 활발히 진행되고 있다[2]-[4]. 위성탑재 영상레이더는 지상국과 교신이 가능한 시점에, 지상으로부터 수신한 임무 명령에 기반을 두어 시간적/공간적 제약을 최소화 하여 임무 수행이 가능하다는 장점을 가진다.

지상, 해양, 공중에서 동작하는 다양한 임베디드 시스템들은 개발 완료 이후에도, 문제가 발생하면, 육안검사 및 재현 시험 등을 통해 원인을 분석할 수 있다. 하지만 위성 시스템은 한번 우주로 발사되면 다시는 지상으로 내릴 수 없다. 즉 위성에서 보내주는 신호만으로 각 구성품의 상태(Health)를 파악해야 한다. 또한 장비의 결함이 탐지되어도, 지상으로 내려 육안검사나 재현시험을 할 수 없다는 한계를 가진다. 따라서 영상레이더 각 구성품들의 상태정보를 지상에서 명확히 파악하고 결함에 대한 적절한 조치를 취하기 위해, 다양한 원격측정(Telemetry)정보를 빠른 주기로 수집하여 지상으로 전송하는 기능은 위성탑재 영상레이더의 매우 중요한 요소 중 하나이다.

일반적으로 위성탑재 영상레이더의 제어기 소프

트웨어는 각 구성 품들로부터 정해진 주기마다 원격측정 정보를 획득하고, 이를 종합하여 플랫폼으로 정해진 주기마다 전송한다. 그리고 플랫폼은 해당 데이터를 모두 저장하고 있다가 지상국과 교신이 이루어지는 동안 저장하고 있던 원격 측정정보를 모두 지상으로 전송한다(그림 1).

영상레이더는 다수의 송수신 모듈(Transmit-receive module)로 구성된 안테나, 송신 및 수신을 담당하는 송수신부 및 그밖에 다양한 장치들로 구성되어있기 때문에 수집되는 원격측정정보 수가 매우 많다. 하지만 플랫폼의 대용량 메모리 저장용량은 한정되어 있으며, 영상레이더 이외의 다른 시스템들로부터도 수신되는 정보들을 모두 저장해야하기 때문에, 영상레이더 원격 측정 정보에 할당되는 메모리 용량은 한정되어 있다.

또한, 위성은 정해진 궤도를 돌며, 특정 시간에만 지상국과 교신이 가능하고, 데이터를 지상으로 전송할 수 있는 시간이 궤도당 수 분 이내로 매우 짧다. 이와 같은 위성 시스템의 특수성 때문에 주기적으로 수집된 원격 측정정보를 플랫폼에 모두 저장할 수 없으며, 지상으로 전송할 수 없는 한계를 가진다. 따라서 기존의 영상레이더시스템들은 수집된 모든 원격측정 정보 중 일부 항목만을 선별하거나, 측정 주기보다 더 간헐적인 주기로 데이터를 선별하여 플랫폼으로 전송하는 방법을 사용하였다. 따라서 실제 영상레이더 자체적으로 수집한 모든 원격 측정정보를 지상에서 확인할 수 없다는 한계를 가졌다.

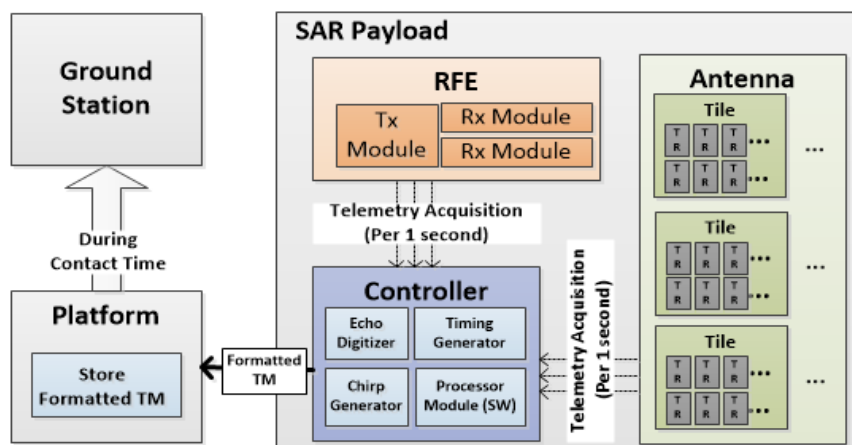


그림 1. 위성 탑재 영상레이더 개략 구조도 및 원격 측정 정보 수집 및 전송 개념
 Fig. 1. Overall architecture of spaceborne SAR system and telemetry acquisition and transmit scheme

본 연구에서는 앞에서 설명한 기존의 운용 제약 사항을 극복하고자, 각 구성품 들로부터 수집된 원격측정정보의 변화 경향성 정보를 기반으로 수집된 원격 측정정보 데이터의 양을 축소시키는 방법을 제안한다. 위성 플랫폼은 축소된 원격 측정정보 데이터 셋을 지상국으로 전송하고 지상국에서는 수신한 데이터를 복호하여 영상레이다가 획득한 모든 원격 측정 정보를 확인할 수 있는 방법을 제안한다. 본 연구를 통해, 수집된 원격 측정정보의 데이터 크기를 축소시켜 저장 및 지상 전송이 용이하며, 지상에서 위성의 현재 상태를 보다 명확히 파악할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련연구로 기존의 위성용 영상레이다에 관련 연구 경향을 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 경향성 분석을 이용한 원격 측정 정보 축소 기법을 기술한다. 4장에서는 본 연구를 적용한 실험 결과를 제시하고 5장에서는 결론 및 향후 연구를 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 위성용 영상레이다 개발 동향

1951년 미국의 Carl Wiley가 SAR 개념을 소개한 이후 다양한 SAR 기술 및 기법이 연구되었고 1978년 세계 최초로 미국에서 위성용 영상레이다 ‘SEASET’를 개발 및 발사하였다[5]. 1980~1990년대에 SIR-A/B/C/X 개발을 통해 위성 SAR 탑재체 기술 검증 및 다양한 분야에 활용하기 시작하였다. 유럽 우주개발국(ESA)에서는 1991년 C-밴드 주파수 기반의 ‘ERS-1’를 발사하였으며 이후 ‘ERS-2’, ‘ENVISAT’ 등 다양한 위성을 개발 및 발사하였다[6]. 2000년 이후에는 각 나라별로 위성 개발이 본격적으로 진행되기 시작하였다.

독일은 2006년 ‘SAR-LUPE’를 개발 이후 ‘TerraSAR-X’ 및 ‘Tandem-X’ 등 다양한 특성의 위성을 개발하였으며, 이를 활용하여 디지털 고도 지도 (DEM)를 구축하는데 활용하였다[7]. 이탈리아는 2007년 ‘Cosmo SKYMED’[8], 이스라엘은 2007년 ‘TexSar’ 등을 개발하였다. 일본에서는 L밴드 주파

수 기반의 ‘JERS-1’을 1992년 발사하였고 중국에서는 2006년 ‘PRS-1’ 위성을 개발 및 발사하였다.

앞서 해외 여러 나라들의 위성용 영상레이다 개발 동향에 비해, 국내의 경우는 뒤늦게 개발이 진행되었다. 한국은 1990년대 광학위성들이 주로 개발되었으며, 2005년도에 다목적 실용위성 5(‘KOMPSAT-5’)를 통해 최초 SAR 탑재 위성 개발이 시작되었다. 다목적 실용위성 5호는 X밴드 다중 편파의 위상 배열 안테나를 탑재하고 있는 저궤도 위성이며, 2013년도에 발사 후 현재에도 운용되고 있다. 이후 다목적 실용위성 6호(‘KOMPSAT-6’)가 개발 진행 중이며, 발사를 앞두고 있다. 이후 민수 및 국방 활용 목적으로 다양한 위성용 영상레이다 개발이 진행되고 있다[9].

2.2 위성용 영상레이다 고장 탐지

기존의 영상레이다의 연구는 영상레이다 시스템 설계 분석 기술과, 영상레이다 데이터의 활용 방안에 대해 중점을 두고 연구되었다[10][11]. 이후 영상레이다의 운용개념, 고장탐지 및 복구 기술 등 다양한 영상레이다 시스템 운용에 대한 연구가 진행되었다. 위성 발사 후, 우주 환경 (방사능 및 열)에 의한 고장, 의도하지 않는 운용 절차 및 사용자 실수 등에 의해 고장이 발생할 수 있다. 한번 발사된 위성은 육안으로 문제 확인 또는 별도의 디버깅 환경을 통한 고장의 확인이 불가능하다. 따라서 다양한 위성 시스템의 고장 탐지, 차단 및 복구 기술이 개발되었다. [12]는 위성 본체 소프트웨어의 고장 탐지 및 복구 기술에 대한 조사연구를 보였으며 [13][14]는 영상레이다 위성들의 결함 예측을 위한 기법과, 위성의 결함 발생 사항을 분석하는 연구를 제시하였다. [14]에서는 위성용 영상레이다 원격 측정 정보를 지상에서 분석하는 기법과 이를 반영한 시험장비 개발방안을 제시하였다[15].

앞서 설명한 위성의 고장 및 각 구성품의 상태 확인은 지상으로 전송하는 원격 측정정보를 기반으로 확인 및 분석할 수 있다. [16]에서는 각 위성마다 사용하는 명령어 및 원격 측정정보 시스템을 유럽 우주 표준(ECSS)에서 제시한 표준에 따라 개발

한 시스템을 소개하고 있으며, [17]에서는 딥 러닝 기술을 이용한 원격 측정 정보 모니터링 기법에 대한 연구를 수행하였다 이 외에도 다양한 고장에 대비한 원격 측정정보 설계 및 고장 탐지 설계가 연구되었다. 하지만, 원격 측정정보 식별 및 수집의 관점에서 연구되었으며, 지상으로 효율적으로 전달하는 부분에 대해서는 활발히 연구되지 않았다.

III. 경향성 분석 기반의 영상레이더 원격 측정정보 데이터 축소 기법

그림 2는 본 논문에서 제안하는 원격 측정정보 축소 및 복원 방법의 시스템 구조도를 나타낸다.

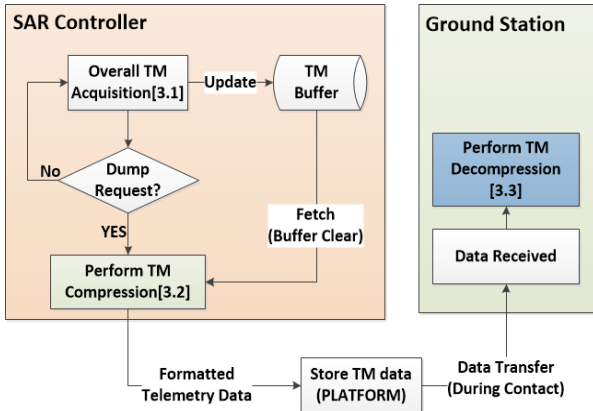


그림 2. 본 연구의 기능 흐름도
Fig. 2. System flow

영상레이더는 그림 1과 같이 각 구성품으로부터 주기적으로 원격 측정 정보를 수집한다. 본체로부터 수집된 원격 측정 정보 전송 요청을 수신하면 영상레이더의 제어소프트웨어는 현재까지 수집된 정보를 기반으로 경향성 분석을 수행하고 원격 측정 정보를 압축한다. 압축된 정보는 본체의 대용량 메모리로 옮겨져 저장되다가, 지상국과 교신 시, 지상국으로 전달된다. 지상에서는 데이터 복원 절차를 통해 영상레이더에서 수집했던 모든 원격 측정 정보를 확인 할 수 있다. 각 과정에 대해서는 다음 절에서 자세히 설명한다.

3.1 영상레이더 원격 측정정보 수신

영상레이더는 다양한 구성품들로 이루어지며, 각 구성품별로 정상 상태 (Health Status)를 확인하기 위한 다양한 원격 측정 정보가 존재한다. 각 구성품으로부터 어떤 항목을 모니터링할지는 시스템 설계 단계부터 진행된다. 표 1은 영상레이더의 각 장비들의 대표적인 원격 측정 정보에 대해 보여준다.

표 1. 영상레이더의 원격 측정 정보 예
Table 1. Experimental data sets of SAR telemetry

Equipment	Acquired Information	# of Bit
SAR controller	Temperature of each board	2 BYTE per each telemetry (Depend on each system design and protocol design)
	Voltage level of each board	
	Communication status	
Radio frequency equipment	Temperature of each board	
	Tx/Rx level	
	Gain setting value	
	Signal path status	
SAR antenna	Temperature of each TR module	
	Power level of each TR module	
	Memory error status	
	Communication status	
SAR controller SW	Command execution result	
	Mode and state info.	
	History log	
	EDAC status	

각 구성품의 원격 측정 정보는 제어기 내의 제어 소프트웨어가 수집한다. 원격 측정 정보의 수집 주기는 영상레이더 초기 설계 단계에서 운용 개념에 따라 결정되는데, 통상은 초당 1번 정도 데이터를 수집하게 된다.

수집된 원격 측정 정보를 기반으로, 제어소프트웨어는 각 구성품의 동작 상태의 이상 유무를 판단하는 모니터링 행위를 수행한다. 더불어 지상에서도 각 구성품의 상태가 어떤지, 구성품 성능의 열화가 없는지 등을 파악할 수 있도록 원격 측정정보를 수집 및 전송한다. 서론에서도 설명하였듯, 수집된 모든 원격 측정정보를 지상으로 전송하기에는 데이터의 양이 매우 많다. 따라서 기존의 위성용 영상레이더에서는 수집된 원격 측정 정보 중 일부 항목만 수집 추가보다 크게 선별하여 전달하였다. 본 논문에서는 데이터 크기를 축소시켜 모든 수집 데이터를 전달 할 수 있는 기법을 제안한다.

3.2 경향성 기반 원격 측정정보 압축

일정 주기별로 각 구성품별로 수집된 원격 측정 정보는 그림 3과 같이 정의한다. 여기서 각 원격 측정 항목 N 개는 각각 $TM(1) \sim TM(N)$ 로 정의하며 한다. $TM_1(t_1)$ 은 1번 원격 측정 항목의 t_1 시간에 수집된 정보를 의미한다. 수집된 정보를 기반으로, 각 원격 측정 정보의 경향성 정보를 아래의 분석을 수행한다. 본 연구에서 사용하는 ‘경향성 정보’란 순차적으로 획득된 원격 측정 정보의 인접한 두 값 간의 차이의 변화량을 의미한다.

[분석 1] $TM_x(t_1) \sim TM_x(t_n)$ 을 탐색하여 $TM_x(t(n-1)) \sim TM_x(t_n)$ 간의 변화 값 $Diff(1) \sim Diff(n-1)$ 을 계산한다.

[분석 2] $Diff(X)$ 값이 동일하게 나타나는 구간을 탐색하여 해당 구간의 길이 $Dur(1) \sim Dur(M)$ 와 변화량 값 $D(1) \sim D(M)$ 값을 추출한다.

[분석 3] $D(1) \sim D(M)$ 중 최댓값을 찾고, 해

당 값 표현에 필요한 Bit 수 (D_Bit)를 그림 4와 같이 계산한다. 그림 5는 본 경향성 분석 및 압축 과정을 보여준다.

앞에서 분석한 3개의 값을 기반으로 플랫폼으로 전달하는 원격 측정 정보는 그림 6과 같이 구성한다. 전체 데이터 구조는 각 원격 측정 정보별 압축 데이터의 모음으로 구성되며, 각 원격 측정정보는 (1) 데이터의 초기 값, (2) 전체 변화 구간 개수, (3) D_Bit 값이 적용되며, 이후에는 추출된 $D(1) \sim D(X)$ 와 $Dur(1) \sim Dur(X)$ 정보가 기록된다.

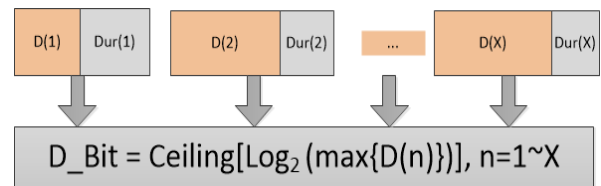


그림 4. $D(x)$ 표현을 위한 최소 Bit수
Fig. 4. Minimum Bit number for expression $D(X)$

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	...	tn	time
TM(1)	TM ₁ (t1)	TM ₁ (t2)	TM ₁ (t3)	TM ₁ (t4)	TM ₁ (t5)	TM ₁ (t6)	TM ₁ (t7)	...	TM ₁ (tn)	
TM(2)	TM ₂ (t1)	TM ₂ (t2)	TM ₂ (t3)	TM ₂ (t4)	TM ₂ (t5)	TM ₂ (t6)	TM ₂ (t7)	...	TM ₂ (tn)	
TM(3)	TM ₃ (t1)	TM ₃ (t2)	TM ₃ (t3)	TM ₃ (t4)	TM ₃ (t5)	TM ₃ (t6)	TM ₃ (t7)	...	TM ₃ (tn)	
TM(4)	TM ₄ (t1)	TM ₄ (t2)	TM ₄ (t3)	TM ₄ (t4)	TM ₄ (t5)	TM ₄ (t6)	TM ₄ (t7)	...	TM ₄ (tn)	
...
TM(N)	TM _N (t1)	TM _N (t2)	TM _N (t3)	TM _N (t4)	TM _N (t5)	TM _N (t6)	TM _N (t7)	...	TM _N (tn)	

그림 3. 수집한 원격 측정 정보 자료 정의
Fig. 3. Definition of acquired telemetry data

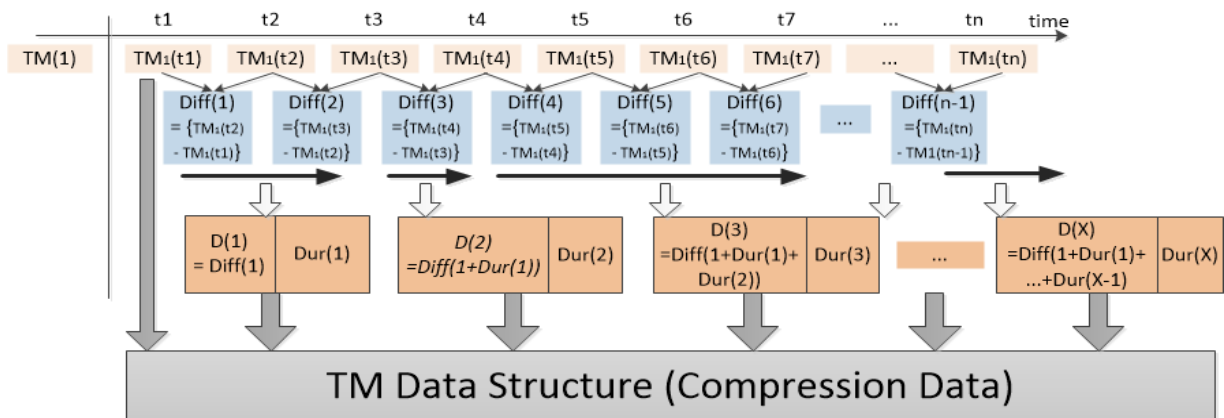


그림 5. 원격 측정 정보로부터 변화량 추출 및 이를 이용한 압축 절차
Fig. 5. Compression sequence based on trend analysis of telemetry data set

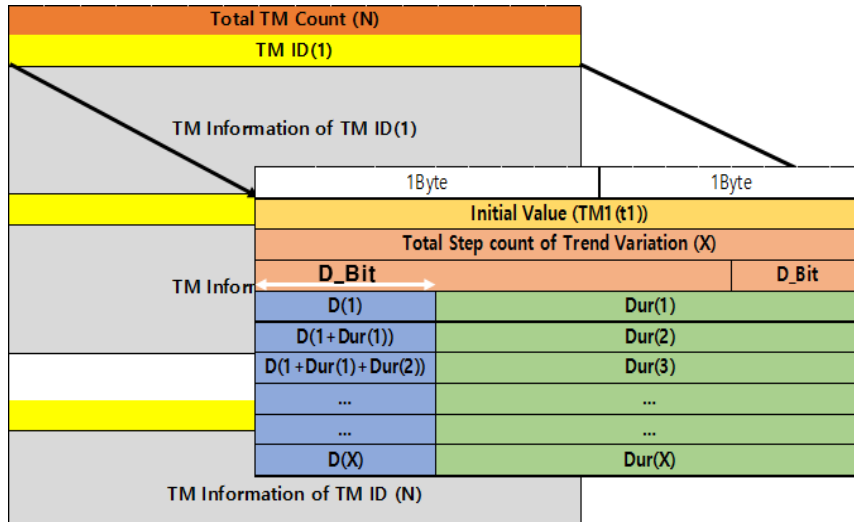


그림 6. 원격 측정 정보 압축 데이터 구조
Fig. 6. Data format of compressed telemetry data

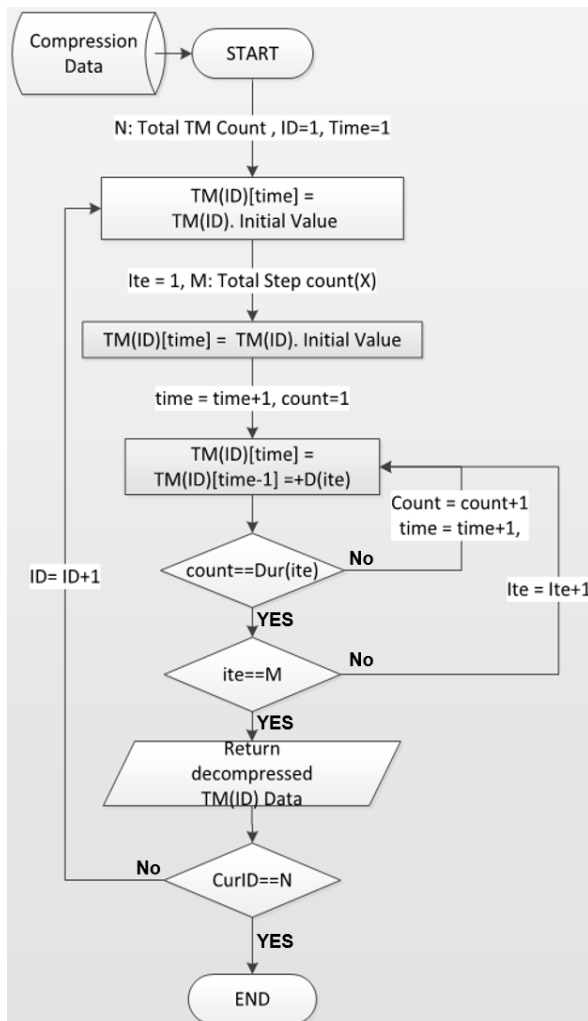


그림 7. 원격 측정 정보 복원 순서도
Fig. 7. Flow Chart of telemetry data de-compression

3.3 영상레이더 원격 측정정보 복원

3.2절의 알고리즘을 통해 압축된 원격 측정 정보는 본체로 전송되며, 본체는 지상국과 교신되는 시점에 지상국으로 전송된다. 지상에서는 압축된 원격 측정 정보를 압축 전의 상태로 복원해야 한다. 복원의 과정은 그림 7의 순서로 진행된다. 각 원격 측정 정보별로 각 정보가 몇 개의 변화구간으로 구분되었는지를 판단하고, 각 변화구간의 $D(X)$ 와 $Dur(X)$ 값을 기반으로 각 주기별 원격 측정 정보 값을 초기 값으로부터 더해가며 복원한다. 이 과정을 통해 위성의 제어소프트웨어가 매 주기별로 수신하였던 원격 측정 정보를 손실 없이 모두 복원 가능하다.

IV. 시험 결과

본 연구에서 제시한 데이터 축소 방법의 결과 분석을 위해 표 2와 같은 다양한 경향의 원격 측정 정보가 수집되었을 때를 가정으로 분석을 수행하였다. 본 예제의 각 원격 측정 정보는 16bit (1Word)의 값을 가지며 총 30 주기 동안의 값이 다음과 같이 획득되었다고 가정한다. 기존의 원격 측정 정보 전송 방법 시 각 원격 측정 정보 별로 31Words의 크기를 가진다.

표 2. 원격 측정 정보 경향에 따른 실험 결과
Table 2. Experimental results of various telemetry trend

Case	Trend	Previous results	Our results
TM1 (0x0001)	Sequentially changed (with same step)	31 Words	4 Words
TM2 (0x0002)	Fixed value	31 Words	4 Words
TM3 (0x0003)	Minor changed	31 Words	12 Words
TM4 (0x0004)	Worst case every TM changed	31 Words	32 Words

- 획득 회수 정보 (1Word)+30개의 수집 정보 (30Word) = 31Words

만약 매 주기마다 동일한 값이 수신되거나, 값이 동일한 간격으로 순차적으로 증가된다면, 해당 원격

측정 정보는 4 Words로 표현 가능하다.

- 초기 값 표현 (1Word)+변화 구간 수 (1Word) + 표현 비트 수 (1Word)+변화구간 (1Word) = 4Words

만약 30주기 동안 9번의 값의 변화 구간이 생겼다면, 해당 정보는 12Words의 크기를 가진다.

- 초기 값 표현 (1Word)+변화 구간 수 (1Word)+ 표현 비트 수 (1Word)+변화구간 (9Word) = 12Words

매 주 기별로 수집된 원격 측정 정보 값이 모두 다른 최악의 경우에는, 기존의 연구에 비해 1 Word 정도의 큰 데이터가 생성된다.

결론적으로, 모든 원격 측정 정보를 저장하는 기존 방법은 획득 횟수 n과 변화 구간 수 X가 동일한 상황과 같다. 원격 측정정보의 경향성이 유지될수록, 본 알고리즘 적용 시, X의 값이 작아지며, (n-X) 만큼 데이터가 축소되는 것을 확인할 수 있다.

Telemetry	ID	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
TM.1	0x0001	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

t1	Diff (1)	Diff (2)	Diff (3)	Diff (4)	Diff (5)	Diff (6)	Diff (7)	Diff (8)	Diff (9)	Diff (10)	Diff (11)	Diff (12)	Diff (13)	Diff (14)	Diff (15)	Diff (16)	Diff (17)	Diff (18)	Diff (19)	Diff (20)	Diff (21)	Diff (22)	Diff (23)	Diff (24)	Diff (25)	Diff (26)	Diff (27)	Diff (28)	Diff (29)	
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Max{D(x)}	D(1)																													
	1																													
	DUR																													
	(1)																													
	29																													

Telemetry	ID	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
TM.2	0x0002	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

t1	Diff (1)	Diff (2)	Diff (3)	Diff (4)	Diff (5)	Diff (6)	Diff (7)	Diff (8)	Diff (9)	Diff (10)	Diff (11)	Diff (12)	Diff (13)	Diff (14)	Diff (15)	Diff (16)	Diff (17)	Diff (18)	Diff (19)	Diff (20)	Diff (21)	Diff (22)	Diff (23)	Diff (24)	Diff (25)	Diff (26)	Diff (27)	Diff (28)	Diff (29)	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max{D(x)}	D(1)																													
	0																													
	DUR																													
	(1)																													
	29																													

Telemetry	ID	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
TM.3	0x0003	21	21	22	23	24	25	25	25	25	25	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	30	30	30	

t1	Diff (1)	Diff (2)	Diff (3)	Diff (4)	Diff (5)	Diff (6)	Diff (7)	Diff (8)	Diff (9)	Diff (10)	Diff (11)	Diff (12)	Diff (13)	Diff (14)	Diff (15)	Diff (16)	Diff (17)	Diff (18)	Diff (19)	Diff (20)	Diff (21)	Diff (22)	Diff (23)	Diff (24)	Diff (25)	Diff (26)	Diff (27)	Diff (28)	Diff (29)		
21	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Max{D(x)}	D(1) D(2)																														
	0 1																														
	DUR DUR																														
	(1) (2)																														
	1 4																														
	D(3)																														
	0																														
	DUR																														
	(3)																														
	5																														
	D(4) D(5)																														
	2 0																														
	DUR DUR																														
	(4) (4)																														
	1 5																														
	D(6) D(7)																														
	1 0																														
	DUR DUR																														
	(6) (7)																														
	1 9																														
	D(8) D(9)																														
	2 0																														
	DUR DUR																														
	(8) (9)																														
	1 2																														

Telemetry	ID	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
TM.4	0x0004	80	70	75	74	88	100	110	130	170	160	120	300	301	260	200	50	30	120	160	175	275	300	60	45	66	100	142	137	200	201

t1	Diff (1)	Diff (2)	Diff (3)	Diff (4)	Diff (5)	Diff (6)	Diff (7)	Diff (8)	Diff (9)	Diff (10)	Diff (11)	Diff (12)	Diff (13)	Diff (14)	Diff (15)	Diff (16)	Diff (17)	Diff (18)	Diff (19)	Diff (20)	Diff (21)	Diff (22)	Diff (23)	Diff (24)	Diff (25)	Diff (26)	Diff (27)	Diff (28)	Diff (29)
80	-10	5	-1	14	12	10	20	40	-10	-40	180	1	-41	-60	-150	-20	90	40	15	100	25	-240	-15	21	34	42	-5	63	1
Max{D(x)}	D(1) D(2) D(3) D(4) D(5) D(6) D(7) D(8) D(9) D(10) D(11) D(12) D(13) D(14) D(15) D(16) D(17) D(18) D(19) D(20) D(21) D(22) D(23) D(24) D(25) D(26) D(27) D(28) D(29)																												
	-10 5 -1 14 12 10 20 40 -10 -40 180 1 -41 -60 -150 -20 90 40 15 100 25 -240 -15 21 34 42 -5 63 1																												
	DUR DUR																												
	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29)																												
	1 1																												

그림 8. 다양한 시나리오 기반으로 한 경향성 분석 및 데이터 축소 결과
Fig. 8. Trend analysis and data compression result according to various scenario

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 위성탐재 영상레이더의 원격 측정 수집 정보를 축소하는 방법을 제안하였다. 기존의 위성 시스템에서는 한정된 저장 공간 및 지상 전송의 제약을 고려하여, 수집된 원격 측정정보의 일부 데이터만 선별하여 지상으로 내려주는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 이런 한계를 극복하고자 원격 측정 정보의 경향성 정보를 분석하고, 이를 기반으로 경향성 정보만으로 데이터를 구성하여 지상으로 전송하고, 이를 지상에서 복원하는 방법을 제시하였다. 본 알고리즘을 적용 시, 최악의 원격 측정 정보 수집 경향에서도, 기존의 방법에 불과 1Word만 데이터가 커지는 것을 확인 할 수 있다.

본 연구는 이전에 시도된 바 없던 위성용 영상레이더 원격 측정 정보의 효율적인 전송 방법을 제시하였는데 연구에 의의를 찾을 수 있다. 제시된 연구 방법을 적용할 경우, 기존의 위성 시스템들에 비해 보다 빈번한 주기의 원격 측정 정보를 지상으로 전송할 수 있으며, 이는 위성의 현재 상태에 대한 보다 명확한 분석이 가능하고 문제 해결에 유용하게 활용할 수 있다.

본 연구에서는 모든 원격 측정 정보를 별도의 구분 없이 모두 동일한 방법을 적용하여 축소하였다. 하지만 각 원격 측정 정보 (온도, 전압 등)의 유형별로 다양한 경향성을 가질 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 각 유형별로 나타나는 경향성 정보를 반영하면 보다 효율적인 데이터 축소 방법이 도출될 것으로 보인다. 따라서 향후 실제 위성의 원격 측정 정보 데이터의 유형별 경향성 분석 연구가 수행 될 예정이다.

References

- [1] I. G. Cumming, Frank and H. Wong, "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar", Artech House, 2005.
- [2] Y. Kwag, "Recent Trend of Synthetic Aperture Radar", The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 22 No. 1, pp. 88-106, 2011.
- [3] H. Jeong and H. Lim, "Technical Development Trend of International Synthetic Aperture Radar Satellite", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace Vol. 7, No. 2, pp. 25-32, 2009.
- [4] Y. K. Chan and V. C. Koo, "An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR)", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 2, pp. 27-60, 2008. <http://dx.doi.org/10.2528/PIERB07110101>.
- [5] R. L. Jordan, "The Seasat—A synthetic aperture radar system", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 154-164, Apr. 1980. <http://dx.doi.org/10.1109/JOE.1980.1145451>.
- [6] E. attema, G. Duchossoil, and G. Kohlhammer, "ERS-1/2 SAR land applications: overview and main results", IGARASS '98 Sensing and Managing the Environment, Vol. 4, pp. 1796-1798, 1998.
- [7] M. Zink, "TanDEM-X Mission Status", Proceedings of IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium), Munich, Germany, pp. 22-27, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351136>.
- [8] F. Dell'Acqua, P. Gamba, and R. Battaglia, "Applications and design of a multi-polarization 2nd Generation SAR for the COSMO/SKYMED Constellation", Applications of Polarimetry and Polarimetric Interferometry, POLINSAR2005, pp. 41-45, Apr. 2005.
- [9] Korea Aerospace Research Institute, <http://www.kari.ac.kr>, RND/Satellite
- [10] J. Sung, S. Kim, H. LEE, and B. Jeon, "Modeling and Simulation Techniques for Performance Analysis of High Resolution SAR System", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 24, No. 5, pp. 558-565, May 2013. <http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2013.24.5.558>.
- [11] D. Yang, "Recent Trends in Synthetic Aperture Radar(SAR) Applications and Technology", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace Vol. 16, No. 1, 127-135, 2018.
- [12] S. Jalilian, F. SalarKaleji, and T. Kazimov, "A survey on Fault Detection, Isolation and Recovery

(FDIR) module in satellite onboard software", 6th international Conference on Recent Advance in Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkey, pp. 329-332, Jun. 2013. <https://doi.org/10.1109/RAST.2013.6581270>.

- [13] A. Schwab, Ch. Giese, and D. Ulrich, "TDX-TSX - On-board autonomy and FDIR of whispering brothers", Proceedings of 12th International Conference on Space Operations, Stockholm, Sweden, pp. 11-15, Jun. 2012. <http://dx.doi.org/10.2514/6.2012-1290887>.
- [14] Y. Cho, J. won, Y. Lee, K. Kwon, and S. Lee, "COMS MPID FDIR (Fault Detection, Isolation & Recovery) Analysis", In Proc, KIEE Summer Annual Conference 2011, pp. 2025-2026, Jul. 2011.
- [15] A. Song, "A Study on the Design of a Electrical Ground Support Equipment for Satellite SAR Operational Verification", Journal of KIIT. Vol. 17, No. 7, pp. 65-74, Jul. 2019. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.7.65>.
- [16] N. Lee, J. lee, and B. Suk, "Command and Telemetry System Design for Low earth orbiting satellite considering the PUS concept", Aerospace engineering and Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 92-96, Jul. 2007.
- [17] C. O. Meara, L. Schlag, and M. Wickler, "Applications of deep learning neural networks to satellite telemetry monitoring", Proc. Int. Conf. Space Operations (SpaceOps2018), Marseille, France, pp. 1-16, May 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-2558>.

저자소개

이 호 창 (Hochang Lee)



2006년 2월 : 중앙대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2008년 2월 : 중앙대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2013년 2월 : 중앙대학교
컴퓨터공학과 (공학박사)
2013년 2월 ~ 현재 :

국방과학연구소 선임연구원
관심분야 : 영상레이다 제어 소프트웨어

이 현 익 (Hyonik Lee)



2002년 2월 : 한국과학기술원
전자전기공학부(공학사)
2005년 2월 : 한국과학기술원
전산학과(공학석사)
2008년 2월 ~ 현재 :
국방과학연구소 선임연구원
관심분야 : 영상레이다 통제장치

이 아 름 (Arim Lee)



2017년 2월 : 충남대학교
정보통신공학과(공학사)
2019년 2월 : 충남대학교
전자전파정보통신공학과
(공학석사)
2019년 3월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원

관심분야 : 영상레이다 제어 소프트웨어

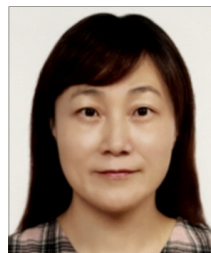
김 세 영 (Seyoung Kim)



1991년 2월 : 단국대학교
전자전기공학부(공학사)
1993년 2월 : 단국대학교
전자전기공학과(공학석사)
2010년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학박사)
1993년 3월 ~ 현재 :

국방과학연구소 책임연구원
관심분야 : 레이더 및 영상레이다 시스템 등

성 진 봉 (Jinbong Sung)



1998년 2월 : 충남대학교
전파공학과(공학사)
2000년 2월 : 충남대학교
전파공학과(공학석사)
2022년 2월 : 충남대학교
전파공학과(공학박사)
2001년 ~ 2006년 : 한국전자

통신연구원 연구원
2007년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
관심분야 : 영상레이다