

技術論文

항공기탑재 소형 영상레이더 (KOMSAR) 시스템 제어기 개발

황용철*, 이철훈**

Development of the System Controller for the Airborne Small SAR (KOMSAR)

Yong Chul Hwang* and Cheol-Hoon Lee**

ABSTRACT

Synthetic Aperture Radar is an active sensor utilizing the microwaves in order to get the requested high resolution imageries day or night regardless of the weather conditions. In this paper, the architecture of a real-time system controller for the airborne small SAR system, KOREA Miniature SAR which was developed by Agency for Defense Development is proposed considering the embedded real-time environment. The main purpose of the system controller is to control the internal and the rest of subsystem within SAR system in real-time. The main characteristics of the proposed system controller were implemented using the real-time operating system and the distributed hardware architecture for the small, low weight and real-time operation. The system controller performance and real-time operation were verified and confirmed by the demo flight with the KT-1 airplane.

초 록

영상레이더(SAR)는 전자파를 이용하여 고해상도 영상을 획득할 수 있는 능동형 센서로서 주야간 전천후 임무수행 능력으로 인하여 활용 범위가 점차 확대되고 있다. 본 논문에서는 국방과학연구소에서 개발한 항공기탑재 영상레이더인 KOMSAR의 실시간 임베디드 환경을 고려한 시스템 제어기의 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제안하였다. KOMSAR 시스템의 실시간 제어를 위하여 소형 경량 분산형 하드웨어 구조 및 실시간 운영체제를 기반으로 기능 태스크 구조로 소프트웨어를 구현한 시스템 제어기를 개발하였다. KT-1 항공기탑재 비행시험을 통하여 시스템 제어기의 자체 성능뿐만 아니라 시스템 연동 및 제어 기능의 실시간 동작성능을 검증하였다.

Key Words : Synthetic Aperture Radar(영상레이더), RTOS(실시간 운영체제), System Controller(시스템 제어기), Flight Test(비행시험)

1. 서 론

영상레이더(SAR)는 전자파를 방사하고 지상의

† 2004년 10월 26일 접수 ~ 2005년 2월 11일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소

연락처, E-mail : ychwang@add.re.kr

대전시 유성우체국 사서함 35-5

** 정회원, 충남대학교 컴퓨터공학과

표적에서 반사되는 수신신호를 수집, 신호처리하여 고해상도 영상을 획득할 수 있는 장비이다. 영상레이더는 주야간, 강우, 구름, 역광등 기상조건에 관계없이 전천후로 고해상도 영상획득 임무를 수행할 수 있는 장점이 있으므로 군사용뿐만 아니라 민수 분야에도 활용도가 점차 증가하고 있는 추세이다. 영상레이더는 위성, 항공기, 무인기 등 다양한 플랫폼 특성을 고려하여 탑재되어

운용되고 있다.

영상레이더 개발 역사의 시초는 1951년에 Carl Wiley가 코히어런트 이동 레이더 시스템에서 수신신호의 주파수 분석을 통해 방위각에 대한 고해상도 영상을 얻을 수 있음을 발표한데서 비롯되었다. 영상레이더의 원리 발표 이후에 1953년 7월 일리노이 대학 연구팀이 처음으로 스트립맵 (Stripmap) 방식에 의한 SAR 영상을 획득하였으며, 1957년 8월 미시간 대학의 연구팀에서 고해상도 항공기 탑재 매핑 레이더를 개발한 이후로 세계 각국에서 많은 연구가 진행되고 있다[1].

근래에 반도체를 비롯한 전자공학의 비약적인 발전과 SAR 영상형성 소프트웨어 기술의 발달로 인하여 고해상도 영상처리 능력과 다양한 영상획득 기법을 보유한 영상레이더가 개발되고 있다. 특히 무인기 탑재 영상레이더인 경우는 장시간 임무수행을 위하여 탑재체를 소형 경량화, 다중 모드, 고해상도 영상획득이 가능한 방향으로 개발하고 있는 추세이다. 영상레이더 시스템의 소형 경량화 요구에 따라, 시스템 제어기도 이에 부합되도록 소형 경량화 되어야 한다.

본 논문에서는 국방과학연구소에서 국내 최초로 개발한 항공기 탑재 영상레이더인 KOMSAR(KOrea Mini SAR)를 운용하기 위한 시스템 제어기의 구조를 제안하고 구현방안을 제시하였다. 시스템 제어기는 KOMSAR의 효율적 운용과 실시간 구현을 위하여 고성능 Power PC 7455 프로세서를 기반으로 하는 Motorola사의 MVME 5500 보드를 채택하였다. 실시간 운영체제인 VxWorks를 기반으로 시스템 제어 프로그램을 설계하고 구현하였다. 또한 정확한 타이밍신호를 제어하기 위하여 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 타이밍 제어보드를 제안하였다. 고해상도 데이터 획득을 위한 광대역 과형 발생기, 수신신호를 고속 디지털 데이터로 변환

하는 A/D 변환기 및 실시간으로 데이터를 저장할 수 있는 저장기를 구현하였다.

제안된 시스템 제어기는 소형 경량화가 가능하고 부체계간의 외부 인터페이스를 경감시키기 위하여 시스템의 제어를 담당하는 제어 기능부와 영상레이더의 기저대역 신호를 관리하는 데이터 기능부를 통합하여 개발하였다. 시스템 제어기를 제작하여 실험실에서 종합적인 성능분석을 먼저 수행하고, 항공기에 탑재하여 비행시험을 통하여 시스템 제어기의 특성을 검증하였다.

II. KOMSAR 시스템

2.1 KOMSAR 구성

KOMSAR 시스템의 체계요구조건으로 설정한 사양과 항공기 운용환경 등을 고려하여 시스템 제어기의 개발규격을 선정하였다. KOMSAR의 영상획득 모드는 항공기 운항방향의 측면지역에 대한 SAR 영상을 지속적으로 얻을 수 있는 스트립맵을 기본적인 영상획득 모드로 설정하였다.

KOMSAR 시스템은 그림 1과 같이 항공기에 탑재되는 SAR 탑재체와 지상에서 SAR 영상처리를 위한 SAR 신호처리기로 크게 구성되어 있다.

2.2 탑재체 운용모드

탑재체 운용모드는 탑재체 주요 구성품의 동작 상태 및 전원공급 여부에 따라 탑재체의 운용 및 제어를 정확하게 규정한 것이다. 탑재체 운용모드는 준비단계의 특성을 갖는 모드와 실제로 동작단계의 특성을 갖는 모드로 크게 구분할 수 있다. 탑재체 준비단계의 운용모드로서는 정지모드, 부팅모드, 대기모드, 준비모드, 고장모드 등이 해당하며 동작단계의 운용모드로서는 영상모드, 보정모드, 시험모드, 다운로드 모드 등이 있다[2].

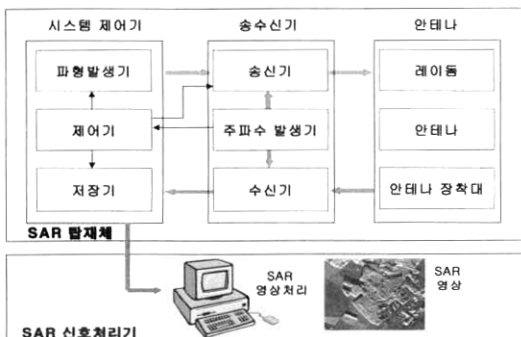


그림 1. KOMSAR 시스템 구성도

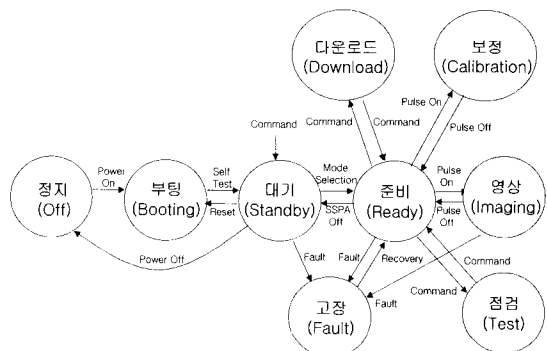


그림 2. 탑재체 운용모드 및 모드 천이도

정지 모드(Off)는 SAR 탑재체 내부에 전원이 공급되지 않는 상태로서 SAR 구성품이 전혀 동작하지 않는 모드이다

부팅 모드(Booting)는 SAR 시스템 제어기에 전원이 공급되면서 제어모듈에 장착된 프로세서가 부팅되면서 기본적인 운용 프로그램이 로딩되어 자체 점검 기능 수행을 위한 모드이다.

대기 모드(Standby)는 시스템 제어기가 정상적으로 동작되는 것을 확인한 후, 운용콘솔과 연동이 가능하여 임무계획에 따라 시스템 파라미터 등을 설정할 수 있는 모드이다.

준비 모드(Ready)는 임무계획에 따라 실제 임무를 수행하기 위한 모드로 진행하기 위한 모든 준비가 완료된 모드이다.

시스템 운용 중에 오류(Error)가 발생하면 현재 수행중인 모드를 중단하고 고장 모드(Fault)로 진행하면서 오류상태를 기록하여 추후 원인분석 및 시스템의 안전을 유지하기 위한 모드이다.

영상 모드(Imaging)는 송신펄스를 실제로 방사하고 지표면에서 반사되어 수신되는 신호를 디지털로 데이터로 저장하는 모드이다. 운용판에 지정된 영상획득 시작 스위치를 누르면 타이밍 신호가 발생되면서 시스템의 영상획득이 수행된다.

보정 모드(Calibration)는 SAR 탑재체 내부의 성능 특성을 확인하기 위하여 짧은 시간 동안 보정 데이터를 수집하고 신호특성을 분석하여 탑재체의 성능을 점검, 보정하기 위한 모드이다.

다운로드 모드(Download)는 운용콘솔을 시스템 제어기와 LAN으로 연결하여 저장기에 저장된 데이터를 다운로드 받기 위한 모드이다.

점검 모드(Test)는 SAR 탑재체의 운용상태를 점검하기 위하여 SAR 동작상태를 임의로 설정하여 구성품의 동작상태를 확인하기 위한 모드이다.

2.3 PRF 선정

항공기의 운용고도 및 지표면의 반사특성 등을 고려하여 영상획득빔의 입사각(Incidence Angle)을 $50^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 범위까지 조절할 수 있도록 설계하였다. SAR 영상획득을 위한 임무계획 수립시 최적의 SAR 영상을 획득하기 위하여 비행고도, 관측지역, 항공기 속도 등을 고려하여 체계 운용변수를 선정할 수 있도록 고려하였다.

PRF(Pulse Repetition Frequency)는 SAR 시스템을 운영하기 위한 기본적인 시간 단위로서 레이더 펄스의 송신 및 수신 타이밍 그리고 SAR 영상의 방위해상도 및 모호성(Ambiguity)을 결정하는 매우 중요한 변수이다. 방위각 해상도를 만

족하기 위한 도플러 대역폭을 결정하는 최소 PRF는 식(1)과 같이 정의할 수 있다[3].

$$PRF_{\min} [Hz] = 1.2 \times 2 \times \frac{2v_s}{\lambda} \times \frac{\sin(\Theta_H)}{2} \quad (1)$$

여기서, v_s : 항공기 비행속도, λ : 송신주파수 파장, Θ_H : 안테나 방위각 빔폭이다.

항공기 영상레이더에서 보정신호와 영상획득을 동일 PRF 내에서 수행하는 경우, 영상획득 지역에서 되돌아오는 반사신호와 직하방(Nadir)에 맞고 돌아오는 간섭신호간의 시간차가 적어 간섭현상이 발생할 수 있기 때문에 비행고도와 관측거리를 고려하여 PRF 등을 결정하여야 한다.

2.4 자료저장 속도

고속으로 샘플링되는 SAR 데이터를 실시간으로 저장하기 위해서는 A/D변환모듈과 저장기와 데이터 연동구조 및 제어방안이 매우 중요하다. 자료저장기로 입력되는 최대 자료입력 속도는 식 (2)와 같이 정의할 수 있으며, KOMSAR는 In-Phase/Quadrature 채널의 A/D 변환기가 8비트, 송신펄스의 듀티싸이클을 10%로 기준할 때 최대 32MB/s의 데이터를 지속적으로 처리해야 한다. Head에 수록되는 정보는 PRF 번호, 운용모드 등을 기록하여 SAR 영상형성시 활용할 수 있도록 하였다. A/D 변환모듈 후단에 버퍼 메모리를 추가하여 입출력 데이터의 버퍼링 기능을 수행하며 32bit 데이터로 처리함으로써 전송효율을 높일 수 있도록 구현하였다[4].

$$Data_{rate} [B/s] = PRF \times (Head + (2Q_{Byte} \times T_{win}) \times F_{samp}) \quad (2)$$

여기서 Q_{Byte} 는 A/D 샘플링 Byte 수, T_{win} 은 수신신호 샘플링 윈도우 구간, F_{samp} 는 샘플링 주파수, Head는 PRF 단위의 패킷 헤더부분에 기록되는 데이터의 Byte 수이다.

III. 시스템 제어기

3.1 하드웨어 구현

영상레이더의 시스템 제어기는 규정된 시간 내에 주어진 작업이 정확하게 처리되어야 하는 실시간 시스템 특성과 내장된 마이크로 프로세서 기반의 디지털 시스템인 내장형(Embedded) 시스템의 특징을 모두 갖고 있는 내장형 실시간 시스템으로 정의할 수 있다[5].

시스템 제어기 개발시 적용한 주요 설계개념은 실시간 시스템 제어 및 운영, 시간적으로 정확한

명령어 생성 및 부체계 전달 그리고 소형 경량화 구조형상 등이다. 이와 같은 설계개념을 기반으로 실시간 운영체제 적용한 운용프로그램, 타이밍 제어보드를 이용한 부체계 시스템의 시각 동기화, 하드웨어 기능보드의 소형화 단순구조 기법을 적용하였다.

항공기에 장비를 탑재하여 운용하기 위해서는 항공기 특성, 진동, 충격, 운용온도, 기구적 규격 등 운용상 제한사항 등을 파악하여 제어기 설계시 고려하였다. KOMSAR 시스템 제어기의 하드웨어 블록도는 그림 3과 같다.

제어모듈은 KOMSAR 시스템의 제어특성을 고려하여 1GHz 클럭 속도의 PowerPC 7455 프로세서, 512MByte SDRAM 메모리, 2개의 64bit 66MHz PCI 버스, Universe II VME 버스 인터페이스, Gigabit Ethernet 등을 지원하는 MVME 5500 보드를 채택하였다.

타이밍 제어모듈은 100ns 단위의 시각 정확도를 가지고 시스템을 제어하기 위한 타이밍 신호를 발생시켜 관련 모듈에 전달하는 기능을 담당한다. KOMSAR의 운용모드에 따라 타이밍 발생 신호가 달라지므로 FPGA로 구현하여 설계변경이 용이하고 하드웨어 구조를 단순화시켰다.

운용콘솔은 KOMSAR의 운용모드 선정, 시스템 운용 파라미터 조정, 실시간 운영프로그램을 제어모듈로 다운로드, 파형발생 파라미터 설정, 저장기에 저장된 SAR 데이터를 읽어내어 노트북 컴퓨터에 저장하는 기능을 담당한다.

운용관은 지상시험 또는 비행시험 기간동안 KOMSAR의 송신파형을 방사시켜 SAR 데이터를 수집을 시작하거나 중단시키는 역할을 수행한다.

파형발생기는 광대역 송신신호를 발생시킨 후 중간주파수 대역으로 변조하여 송신기로 전달하도록 구현하였다.

A/D 변환모듈은 수신기로부터 입력되는 중간주파수대역 신호를 디지털 데이터로 샘플링하여

PRF 단위의 패킷으로 변환, 버퍼링하여 제어모듈로 전송한다.

데이터 I/O 모듈은 제어모듈의 메인 메모리에 저장된 SAR 데이터를 일정한 크기로 읽어서 DMA 방식으로 저장기에 실시간으로 저장하는 기능을 담당한다.

저장기는 SAR 영상획득 시간과 실시간 저장속도 그리고 저장된 데이터를 읽는데 소요되는 시간 등을 고려하여 진동, 충격 흡수장치를 부착한 40GByte 용량의 SCSI 하드디스크를 사용하였다.

GPS 수신기는 항공기의 비행경로에 따른 위치 정보와 속도정보를 수신하고 저장하며, 영상처리시 저장된 GPS 데이터를 활용한다.

3.2 실시간 운영체제 (RTOS)

실시간 운영체제는 일반적인 컴퓨터에 탑재되어 있는 범용 운영체제와 유사하지만 실시간 처리 개념이 추가된 운영체제로서 태스크(Task) 관리와 태스크간 통신을 담당하여 멀티태스킹을 수행하는 커널(Kernel)과 I/O 시스템, 파일시스템, 디바이스 드라이버, 네트워킹 기능으로 구성된다.

System Clock은 제어보드에서 제공하는 60Hz (16ms) 간격으로 설정하였으며, 운영체제는 타이머 인터럽트를 기준으로 태스크 스케줄링을 수행하게 된다. 제어 프로그램의 인터럽트 핸들러 (Interrupt Handler)에서 처리해야 하는 인터럽트 종류는 표 1과 같다.

표 1. 인터럽트 종류

순번	인터럽트 종류	주기/단위
1	System Clock INT	15ms
2	ADC FIFO INT	2MB
3	SCSI PMC INT	비주기
4	GPS INT	1S

A/D 변환모듈 내에 있는 버퍼에 임시 저장된 샘플링 데이터를 PMC 인터페이스 방식으로 데이터를 읽어 들여 제어모듈로 전달하기 위한 인터럽트 핸들러의 소스 코드를 표 2에 정리하였다.

3.3 시스템 프로그램 구현

시스템 프로그램은 제어모듈에 탑재하여 운용되는 제어 프로그램과 운용콘솔에서 구동하는 운용 프로그램으로 크게 구성되어 있다.

제어 프로그램은 실시간 운영체제 기반으로 실제 SAR 탑재체 제어를 위한 프로그램으로서, 명령어 및 타이밍 신호를 이용하여 탑재체를 효율적으로 제어하도록 그림 4와 같이 6개 관리 기능

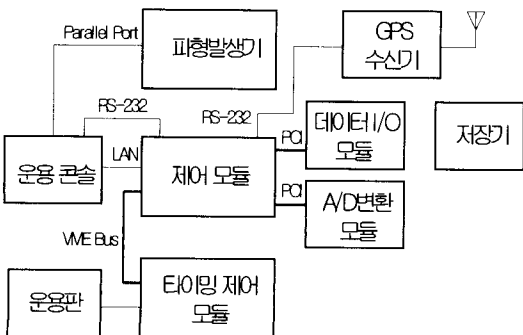


그림 3. 시스템 제어기의 하드웨어 블록도

표 2. ADCPMC 인터럽트 핸들러 코드

```

void adcPmcIntHandler()
{
    nIntSrc = 0;
    /* Read int source */
    CT_PMC_ADC_GetPmcInterruptSource
    (&nIntSrc);
    /* int clear */
    CT_PMC_ADC_ClearPmcInterruptSource
    (nIntSrc);
    if(nIntSrc & CT_PMC_ADC_INT_PLX9656
    _DMAINT)
        semGive(semDMADone);
}
    
```

모듈로 구성하였다.

외부 인터페이스 관리기능은 명령어 입력, SAR 데이터 전송, 운용콘솔 인터페이스 등 외부 장치의 인터페이스를 담당한다. 탑재체 모드 관리기능은 모드 운용 및 모드 천이 등의 관리를 담당한다. 위기 관리기능은 수신된 점검신호 (Telemetry)가 탑재체 모드에서 설정된 범위를 초과하였을 때 오류의 정도를 분석하여 대처하는 기능을 담당한다. 심각한 오류가 발생하였을 경우에는 운용중인 모드를 오류 모드로 변경하고 오류상태를 기록한다. 레이더 타이밍 관리기능은 탑재체 모드에 따라 타이밍 발생 신호 파라미터를 관리하며 레이더 송신, 수신 및 A/D 샘플링 타이밍 등의 관리를 담당한다. 탑재체 제어 관리기능은 부체계 제어를 위한 명령어 전송 및 점검신호를 수신을 담당하며 점검신호의 확인 주기는 신호특성을 고려하여 변경할 수 있다. SAR 데이터 관리기능은 획득된 SAR 데이터 및 GPS 데이터를 저장하고 관리하는 기능을 담당한다.

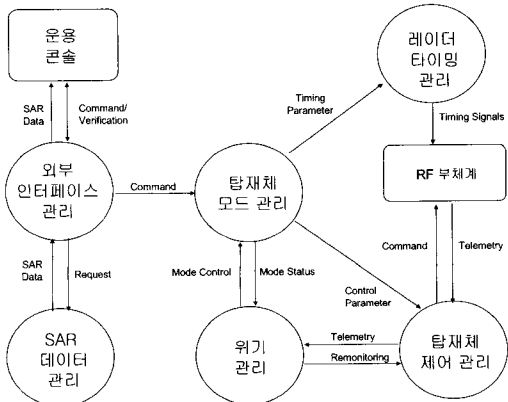


그림 4. 제어 프로그램 구성도

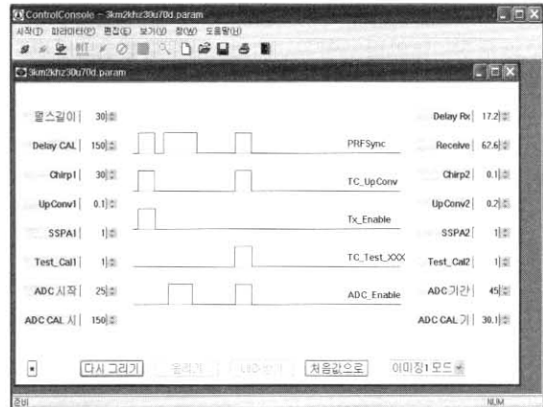


그림 5. 타이밍 파라미터 설정 화면

운용 프로그램은 윈도우즈 기반으로서 탑재체 운용모드 선정 및 파라미터 설정 등의 상위레벨의 운용을 담당하며 그림 5는 운용 프로그램 중 레이더 타이밍 파라미터를 설정하는 화면이다.

IV. 실험 및 결과

제어 프로그램은 그림 6과 같이 운용콘솔에서 프로그램을 컴파일 후 제어모듈로 다운로드하여 실행시키는 Cross-Development 방법으로 개발하였다.

시스템 요구사항을 고려한 디지털부 개발 목표 성능 대비 제작성능을 표 3에 정리하였다.

표 3. 디지털부 제작성능

항목	목표성능	제작성능
송신대역폭	100MHz	100MHz
펄스반복주파수	2~5KHz	2~5KHz
송신 펄스폭	≤ 30us	≤ 30us
데이터 처리속도	≥ 40MB/s	53MB/s
데이터 저장시간	≥ 10분	15분
중량	≤ 15kg	14Kg
소모전력	≤ 20W	14W

제작된 시스템 제어기의 외부 형상은 그림 7과 같다.

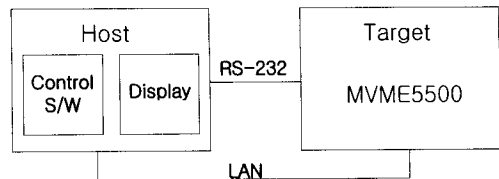


그림 6. 제어 프로그램 개발 환경

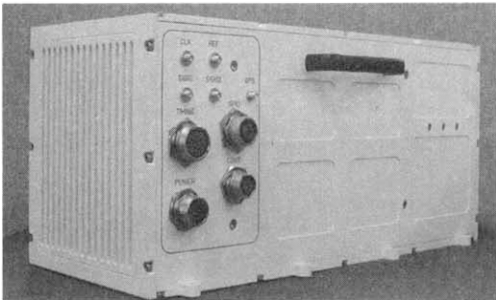


그림 7. 시스템 제어기 형상

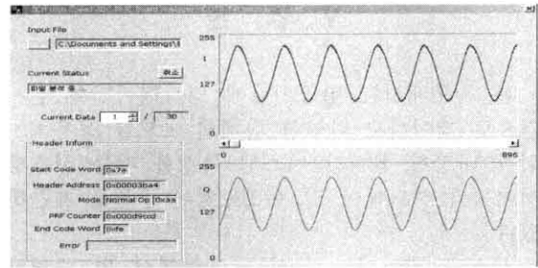


그림 10. 탑재체 내부 특성 분석

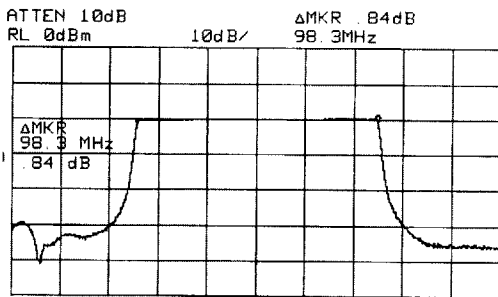


그림 8. 100MHz 대역폭의 LFM 송신파형



그림 11. KT-1 항공기 탑재 비행시험

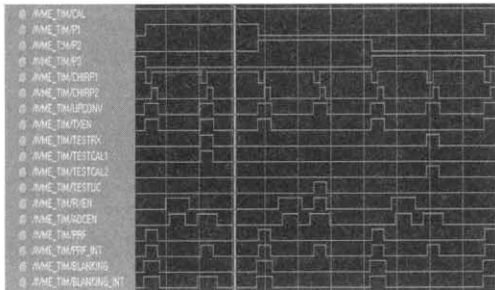


그림 9. 보정모드의 타이밍 다이어그램

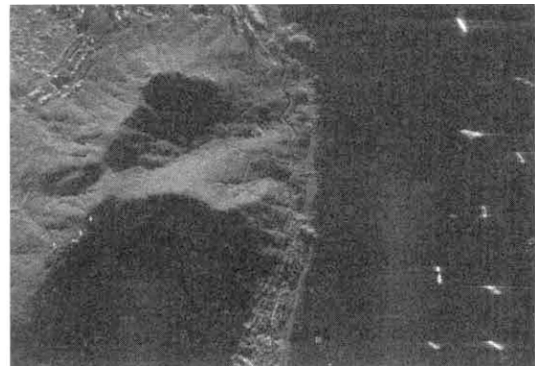


그림 12. KOMSAR에서 획득한 SAR 영상

지상에서 제어기 자체성능 시험 및 탑재체 연동시험을 일차적으로 수행하였다. 100MHz 대역폭을 갖는 LFM 송신파형에 대한 측정 결과는 그림 8과 같으며, 송신 대역폭내에서 생성된 특성이 요구조건을 만족함을 확인하였다.

타이밍 신호는 탑재체 운용모드에 따라 타이밍 발생 간격이 100ns 이하로 정확하게 Jitter 없이 발생하는지를 확인하였으며, 보정 모드에서 타이밍 제어기가 발생시키는 주요 타이밍 신호를 그림 9에 나타내었다.

지상에서 SAR 탑재체의 동작상태 및 성능을 분석하기 위하여 생성된 보정신호는 내부 송신 및 수신 경로를 거쳐 A/D 샘플링되어 파일로 저장된다. 신호분석 S/W를 이용하여 복원한 탑

재체 내부의 신호 특성은 그림 10과 같다.

지상 시험을 완료한 SAR 구성품을 Pod내에 탑재하고 그림 11과 같이 항공기 날개 밑에 장착하여 수회에 걸쳐 실제 비행시험을 수행하였다.

SAR 탑재체는 항공기로 부터 전력을 공급받고 항공기 후방석에 위치한 운용관을 이용하여 영상 획득의 시점 조절을 조절하여 원하는 지역에 대한 데이터만을 획득할 수 있다.

획득된 SAR 데이터를 이용하여 영상처리하고 영상특성을 분석함으로써, SAR 탑재체 및 신호 처리기를 포함한 End-to-End 시스템 성능 검증을 수행하였다. SAR 신호처리기에서 제작된 부산만 지역의 SAR 영상 일부를 그림 12에 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 항공기탑재 영상레이더를 실시간으로 제어하고 다양한 탑재체 모드를 운용하기 위한 내장형 실시간 시스템 특성을 갖는 시스템 제어기의 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제안하였다.

시스템 제어기는 고성능 프로세서 및 주변장치 연동 기능이 있는 제어보드와 실시간 운영체제를 이용한 시스템 프로그램을 구현하여 실시간 시스템 운용성을 보장하였다. 또한 소형 경량화 기법을 적용하여 데이터를 실시간으로 저장기에 저장하기 위한 데이터 I/O 모듈과 A/D 변환모듈을 일반적인 VME 형태의 개별보드로 개발하지 않고 PMC 방식의 Daughter 카드로 제작하여 제어모듈 위에 직접 장착하였다. 이런 기법은 VME 버스나 일대일 고속링크를 통한 데이터 교환이 불필요하게 되어 제어기 아키텍처가 단순하고 실시간 운용이 용이한 장점이 있다. 정확한 타이밍을 요구하는 부체계 제어 및 탑재체 모드 운용을 위한 타이밍 로직을 FPGA로 구현하여 하드웨어 구조가 단순하고 쉽게 변경가능하다.

실험실 연동시험 및 비행시험 동안 시스템 제어기는 주요 구성품을 실시간 제어하고 운용함으

로서 광대역 신호를 생성하고 고속 데이터를 저장하였다. 저장기에 저장된 데이터를 이용하여 고해상도 SAR 영상을 제작함으로써 제안된 제어기의 하드웨어 및 소프트웨어가 실시간으로 운용됨을 체계 비행시험에서 종합적으로 확인하였다.

참고문헌

- 1) John J. Kovaly, *Synthetic Aperture Radar*, Artech House, 1976.
- 2) Y. Hwang, C.-H. Lee, "Implementation on the SAR system controller for the KOMSAR using Real-time Operating System", Proceeding of EUSAR 2004 European conference 2004, Vol 2, May 2004, pp.661-664.
- 3) Y. Hwang, S. Lee, "Design and Performance Evaluation for the small airborne SAR demonstrator, KOMSAR", Proceeding of EUSAR 2004 European conference, Vol 2, May 2004, pp. 837-840.
- 4) 황용철, 이석호, "항공기탑재 소형 SAR 체계설계 및 성능분석", 한국군사과학기술학회, 2003년도 종합학술대회, Aug. 2003, pp. 369-372.
- 5) Jean J. Labrosse, *MicroC/OS-II The Real-Time Kernel 2nd Edition*, CMPBooks 2002.