

헬기탑재 레이다 비행시험을 위한 실시간 고속 레이다 자료 수집 장치 모델 설계

Real-Time High-Speed Radar Data Acquisition System Design for Helicopter-Borne Radar Flight Test

전인평*, 배재훈, 곽영길(한국항공대학교)

1. 서론

레이다는 비행 중 전천후 환경에서 다양한 임무수행을 위해 필수적인 항공전자 장치이다. 레이다를 비행체에 탑재하기 위해서는 공인기관의 기술인증을 위한 시험 및 성능 분석이 필수적이다. 이를 위해서는 레이다 수신신호의 수집 및 분석이 필요하다.[1] 최근 비행 탑재 레이다의 정밀도 향상으로 대용량 자료가 고속으로 신호 처리 된다. 그러므로 레이다 자료수집을 위해 대용량의 자료를 실시간으로 저장하는 기술이 요구된다. 레이다 자료 수집 장치에 의해 수집된 자료는 지상 테스트 베드에서 레이다의 성능 분석을 위해 필요하다. 본 논문에서는 헬기 탑재용 레이다 시스템을 기반으로 이에 맞는 실시간 고속 레이다 수신신호 수집장치에 대한 설계 개념 및 결과를 제시한다.

Table 1. 레이다 시스템 파라미터

구분	항목	사양
시스템	동작 주파수	X-밴드 (9.38 GHz)
	탐지거리	7.5km/ 30km/ 75km (다중모드)
	대상표적	지상/공중 이동표적 및 탐색
	운용모드	이·착륙 / 항행 / 기상
	PRF 주파수	5 kHz / 2 kHz / 1 kHz
	펄스폭	0.1usec / 6.4usec / 6.4usec
안테나	형태	평판 슬롯 배열형
	빔 폭	3(수평), 7(수직)
	스캔 범위	수평:360°/60°, 고도:+20°/-80°
	스캔 형태	기계적 스캔
	스캔 속도	회전:30 rpm, 섹터:180°/sec
송수신기	형태	Super Heterodyne
	동작주파수	9.38 GHz (대역폭:0.2 GHz)
	중간주파수	60 MHz
	검파형태	I/Q 복조 (Digital 신호처리)

2. 레이다 신호 수집 요건

본 논문에서 레이다 자료 수집 장치 설계를 위한 적용 레이다 모델은 X-밴드 대역을 사용하여 탐지거리에 따라 단거리 7.5 Km, 중거리 30 Km, 장거리 75km 범위에 적합한 PRF인 5KHz, 2KHz, 1KHz를 사용한다. 펄스폭은 단거리모드에서 0.1usec를 사용하고, 중거리모드에서 6.4usec를 사용한다. 각 시스템 파라미터는 표 1과 같다. 본 논문에서 적용된 레이다 시스템 모델의 성능 평가 및 분석을 위해 수집되어야 할 자료는 송수신기에서 A/D 컨버터를 통해 수집되는 I/Q 레이다 비디오 신호와 PRF 동기 신호가 있으며 레이다 제어 시스템으로부터 GPS 정보, 안테나 빔 각도 정보 및 비행체 자세 정보가 있다. 적용 레이다 시스템의 실시간 고속 레이다 자료 수집장치의 구성은 그림 1과 같다.

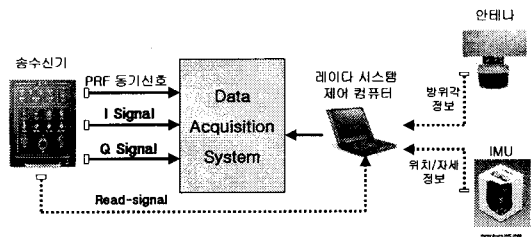


Fig 442. 레이다 자료 수집 장치 구성도

PRF 동기 신호를 기준으로 하여 아날로그 신호인 I/Q 레이다 비디오 신호와 PRF 동기 신호가 저장되며 별도의 Read-signal을 설정하여 이와 동기 시켜 레이다 제어 시스템에서 디지털 데이터를 받아 저장한다. 그림 1은 전체 수집 자료의 타이밍도이다.

* 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 Dept. of Avionics, Graduate School, Hankuk Aviation University
 ※ 본 연구는 산자부 항공우주기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

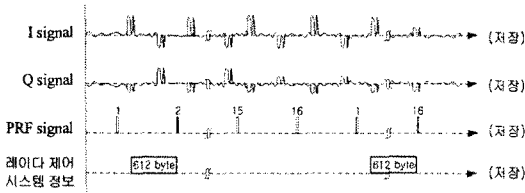


Fig 443. 전체 수집 자료 타이밍도

실시간 고속 레이더 자료 수집 장치 내부 구성은 그림 3과 같으며 안테나로부터 수신한 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 A/D 컨버터, 레이더 시스템 제어 컴퓨터에서 받는 디지털 데이터를 임시 저장하는 메모리 부분과 수집 데이터를 하드 디스크에 저장하는 컨트롤러 및 사용자와 전체 시스템의 제어를 담당하는 Main Interface Controller, 동작 및 운용을 위한 Display 부분으로 구성되어 있다.

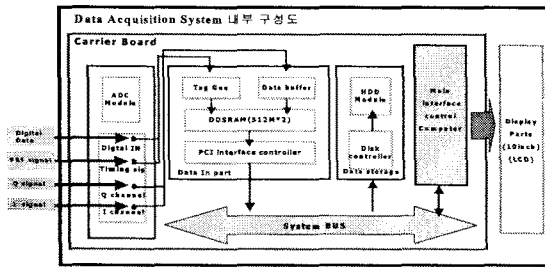


Fig 444. 실시간 고속 자료 수집 장치 내부 구성도

3. 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치 설계 사양 도출

실시간 고속 레이더 자료 수집 장치 설계시 주요 고려사항은 적용 레이더 시스템의 사양에 따라 결정 된다. 본 논문에서 제시된 시스템의 적용 레이더 모델의 경우 최대 펄스폭이 0.1μsec 이므로 레이더 거리 셀 단위별 수신신호의 복원을 위해서 20Mhz의 sampling 속도가 필요하다. 그림 4는 PRF 동기신호 특성이다.

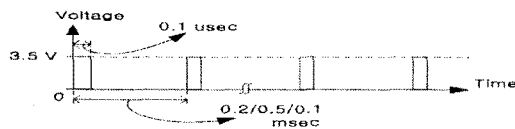


Fig 445. PRF 동기신호 전기적 특성

I/Q 비디오신호, PRF 동기 신호 및 디지털 자료와의 동기를 위한 별도의 Read-signal의 입력을 위해 4개의 입력 채널이 필요하다. 또한 사용되는 A/D 컨버터는 16bit Resolution을 가진다. 별도의 Read-signal을 사용하여 레이더 시스템 제어 컴퓨터에서 디지털 정보인 비행체의 자세 정보, GPS 정보, 안테나 빔 각도 정보를 동기 시켜 저장한다. 레이더 수신 데이터의 실시간 고속 저장을 위해 모델로 사용한 레이더 시스템의 경우 항행 모드일 경우 최대 탐지 거리 75km에 비해 요구 탐지 거리는 30km로 각 펄스당 수신신호의 40%만 신호처리에 사용되므로 디지털 데이터를 신호처리에 사용되지 않는 구간에 크기가 612byte 데이터를 삽입하는 방식을 적용한다. 별도의 Read-signal은 디지털 데이터의 변화를 최소화 하며 수집 자료의 연속성을 유지하기 위해 레이더 시스템의 Dewell time 인 8msec 간격으로 구현한다. 그림 5는 Read-signal과 PRF 신호와 동기 나타낸 타이밍도이다.

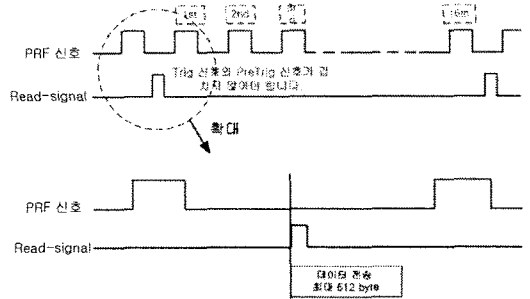


Fig 446. Read-signal 와 PRF 동기신호 타이밍도

시스템 버스의 용량은 A/D 컨버터에서 수집된 데이터 및 디지털 데이터의 용량을 고려해야 한다. 모델 레이더 시스템의 자료 데이터 전송 용량은 20Mhz 샘플링 속도로 16bit 해상도를 갖는 2 채널의 데이터이다. 그러므로 80Mbyte/sec의 데이터가 전송된다. 시스템의 다른 시스템과의 연동도 가능하여야 한다. 각 시스템 버스별 특성을 비교하여 보면 표 2와 같다. 전송용량, 시스템의 확장성 및 시스템의 휴대성을 만족하는 PCI 버스로 설계하였다. PCI의 경우 최대 데이터 전송용량이 1058Mbit/sec(32bit /33Mhz)이므로 데이터 전송에 충분한 대역폭을 가지며, 확장성 및 휴대성이 우수

하다. 자료수집 장치의 수집 용량은 약 1시간 정도의 용량을 가지도록 설계되었다.

Table 2. 각 시스템 버스별 특성 및 성능 비교

Platform	Desktop	PKI	High channel count	Portable	External
bus	PCI	PKI/CPCI	SCXI	PCMCIA	USB/FireWire
Host computer	Desktop PC	Desktop PC or embedded controller	Desktop PC or embedded controller	Laptop PC	Laptop or desktop PC
Max slot per unit	3406	17	12	2	1-64
Max # Of channel(unit)	64	64	32	16	16
Max sampling rate (sample/sec)	10MS/s	10MS/s	50KS/s	50KS/s	1.25MS/s
Resolution(bits)	12,16,24	12,16,24	12,16	12,16,24	12,16
Portability	-	⊙	-	⊙	⊙
Multiboard Synchronization bus	⊙	⊙	⊙	-	-
Real time control	⊙	⊙	-	-	-

레이다 시스템의 비행 탑재 테스트 시간 및 테스트 시나리오를 고려했을때, 저장장치의 하드 디스크의 용량은 80Mbyte/sec로 데이터 저장되므로 1시간을 저장 하려면 288Gbyte의 용량을 가져야한다.

4. 실시간 대용량 레이더 수집자료 저장

실시간 고속 레이더 자료 수집 시스템에서 설계에 가장 큰 문제는 대용량의 자료를 고속으로 실시간 저장해야한다는 것이다. 기본적인 구성에서의 A/D 컨버터와 시스템 버스는 대용량의 자료를 고속으로 처리가 가능하다. PCI 베이스의 기본적인 하드 디스크로의 저장은 20Mbyte/sec가 기술적인 한계이다. 따라서 레이더 자료 수집 장치에서 수집되는 80Mbyte/sec의 정보를 실시간 저장하기는 불가능하다. 본 시스템 설계에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 데이터 포맷의 최적화와 Disk Streaming 기법을 사용 대용량 데이터 실시간 저장 시스템을 설계를 제안한다.[2][3][4]

4-1 저장 데이터 포맷의 최적화

실시간 고속 레이더 자료 수집 장치에 저장되는 신호의 데이터 포맷을 최적화 하여 저장하는 방식이다. 저장된 신호는 각 신호별 동기가 유지되어야 하며 비동기 되었을 시 오류도 검색할 수 있어야 한다. 이를 고려해 저장데이터 구조를 최적화 하였다. 디지털자료는 레이더 시스템 제어 컴퓨터에서 종합되어 Read-signal과 동기 하여 sampling된다. 데이터의 최적화는

A/D 컨버터에서 신호를 sampling 단위별로 PRF 동기신호 비트(0xFFFF)를 추가하며 저장한다. 16번째 펄스 정보에서 Read-signal와 동기 하여 Read-signal index 비트(0xEFFF)를 삽입하고 A/D 컨버터의 출력 정보에서 612byte 디지털 데이터 정보를 레이더 시스템 제어 컴퓨터에서 받아 저장한다. 그리고 다시 PRF 동기신호와 동기해 A/D 컨버터에서 나오는 정보를 저장한다. 실시간 저장에 최적화된 수집자료 저장 데이터 포맷은 그림 7과 같다.

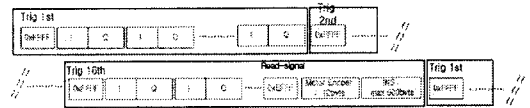


Fig 7. 수집 자료 저장 데이터 포맷

수집자료 데이터 포맷을 최적화 하여 사용함과 동시에 index 비트 및 PRF 동기신호 비트의 오류 검사로 Read-signal의 오류나 수집 저장된 자료의 동기가 맞는지 확인 할 수 있다. 또한 디지털 데이터의 경우 별도의 레이더 시스템 제어 컴퓨터안의 디지털 데이터 수집 장치를 통해 비교 분석이 가능하다.[2]

4-2 Disk Streaming 기법

현재 일반적으로 사용되고 있는 고속 디스크 컨트롤 방식에서 가장 빠른 SCSI2 방식의 경우 43Mbyte/sec 속도로 데이터의 저장이 가능하다. 그러므로 본 시스템 요구 사양인 80Mbyte/sec의 속도로 데이터를 실시간으로 저장하기가 불가능하다. 또한 디스크에 저장하기 위해서는 버스를 통해 A/D 컨버터 및 디지털 데이터가 Main Controller의 CPU와 RAM를 거쳐 다시 하드 디스크로 저장되므로 512 Kbyte/sec의 내부 버스를 가지는 Main Controller에서 데이터의 Delay가 발생하게 된다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Disk Streaming 방법을 사용하였다. Disk Streaming은 별도 Stream Controller를 사용하여 구현된다. Stream 기술은 DMA방식과 유사하게 직접 A/D한 데이터가 버스를 거쳐 저장 디스크에 저장되는 방식을 가지므로 Main System Controller 내부에서의 데이터의 Delay현상을 해결 할 수 있다. 디스크의 액세스 속도도 Raid level에서의 디스크 액세스 병

릴 제어로 쓰기 속도 대역을 증가 시킬 수 있다.[2][3][5] 그림 8은 Disk Streaming 기법의 개념을 나타낸 그림이다.

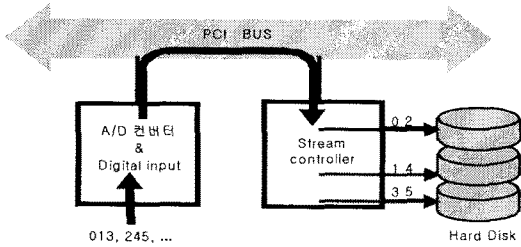


Fig 449. Disk Streaming 기법의 개념

저장된 데이터를 범용 PC의 하드디스크로 이동시키기 위하여 별도의 Stream Controller를 공유하여 데이터를 이동시켜야 한다. 그러므로 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치에 Stream Controller를 공유하는 출력 라인 추가가 필요하다.[2]

5. 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스 부분은 적용 모델의 레이더 동작 모드에 따른 레이더 시험 시나리오에 따라 결정된다. 테스트 모드에 따라 파일을 구분하고 정보 입력을 위한 모드 입력 변수가 있고 A/D 보드 제어 입력 변수가 있다. 이러한 입력 변수를 사용하여 사용자 인터페이스가 구성되어 각 시스템의 동작을 제어 한다.그림 9는 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치의 제어도이다.

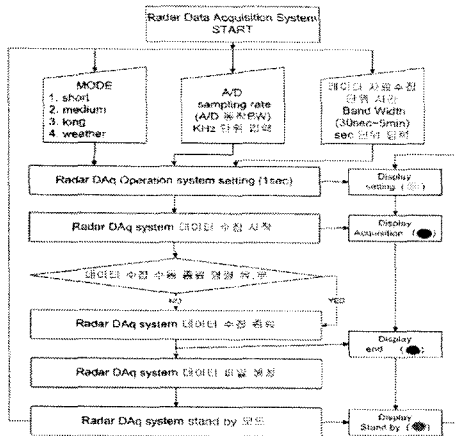


Fig 450. 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치의 제어도

레이더 자료 수집 장치의 동작이 시작되면 자료 수집 장치는 대기모드에서 각 제어 입력 변수의 입력을 기다린다. 각 제어 변수들이 입력 되면 수집 장치는 1초간 A/D 컨버터의 초기화 및 자료 저장을 위한 파일 쓰기를 준비한다. PRF 동기 신호와 동기 하여 레이더 자료를 실시간 고속으로 저장하게 된다. 만약 저장 중에 자료 수집 중단 명령이 들어오면 자료 수집을 종료하며 이미 수집된 자료는 파일쓰기를 종료하고 파일을 생성한다. 그리고 다시 대기 상태로 들어간다. 중단 명령이 들어오지 않을시 자동적으로 자료수집 단위시간 동안 자료수집을 하고 종료하며 수집된 자료를 파일쓰기를 종료, 레이더 수집 자료 파일을 생성한다. 그리고 다시 대기 상태로 들어간다.

6. 결론

실시간 고속 레이더 자료수집 장치는 레이더의 시험 성능 분석을 위해 필수적인 장치로서 레이더 테스트베드와 레이더 수신신호의 특성을 분석할 수 있다. 본 논문에서는 헬기탑재 X-밴드 펄스 레이더 시스템을 적용 모델로 실시간 고속 레이더 자료 수집 장치의 개발을 위한 설계 결과로서 레이더 수집 자료에 대해 정의하여 적용 모델에 알맞은 설계사양을 정립하고 실시간 고속의 대용량 레이더 자료의 저장 방법을 제시하고 이를 바탕으로 헬기탑재 펄스 도플러 레이더용 실시간 고속 레이더 자료 수집시스템 요구 성능과 설계 결과를 제시하였다.

참고 문헌

[1] M. jenett, R. Kozshin, "A Universal Data Acquisition System for Radar Application",IEEE,1999
 [2] N.M.Desai, "High speed data acquisition systems for ISRO's airborne and spaceborne radars", INCEMIC, 2003
 [3]Yu Lan, Yang Zhaoming "A high-speed multi-channel data acquisition and processing system for coherent radar", ICPS '98
 [4]Li Fanghui, "High-speed data acquisition and digital signal processing of monopulse Doppler radar system", ICSP 2000
 [5]Jerry Lopato, "Implementing Terabyte Instrumentation Through Integration with Real-Time Recorders Whitepaper", NI, DevZone KB 37GFT2OL