2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

# 주사방식 초점면 배열 열상장비의 신호처리기 설계

홍석민, 윤은숙, 유위경, 박용찬, 이주형, 송인섭, 염영호
국방과학연구소 기술연구본부

# Signal Processor Design of Scanning Type Thermal Imaging System using IRFPA

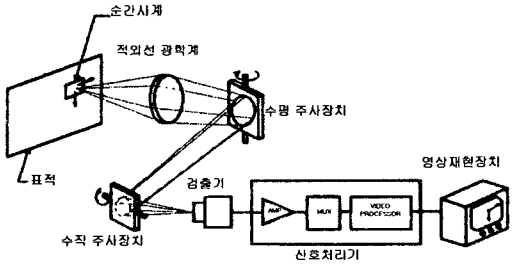
S.M.Hong, E.S.Yoon, W.K.Yu, Y.C.Park, J.H.Lee, I.S.Song, Y.H.Yum
Technology Development Center, Agency for Defense Development

**Abstract** - 열상장비는 물체가 방출하는 적외선 영역의 미약한 에너지를 검출하여 눈에 보이는 영상으로 변환하는 장비이다. 주간과 동일한 영상을 야간에도 획득할 수 있기 때문에 야간 감시등 군사용 장비로 활용되지만 최근에는 송전선로의 이상 유무 판단, 저장 탱크의 저장량 확인, 사스 환자의 체열 검색 등 산업계와 의료계의 이용도 증가하고 있다. 본 논문에서는 최신 기술인 주사방식 초점면 배열 열상장비의 아날로그 및 디지털 신호처리기 설계와 제작 기술을 다룬다. 480×6배열의 고밀도 검출 소자를 이용하여 고속, 저잡음 신호처리를 함으로써 안정된 열 영상을 실시간으로 획득하였다.

## 1. 서 론

절대온도 0도(0K = -273℃) 이상의 모든 물체는 물체 내부의 원자 및 분자의 진동과 회전에 의해 자체적인 복사 에너지, 즉 전자파를 방사하며 복사 이론에 따르면 에너지의 최대 방출 파장은 물체를 흑체(blackbody)로 가정하였을 때의 표면의 온도 및 상태와 상관관계를 갖는다. 특히 지구상에 존재하는 거의 대부분의 물체는 복사하는 전자파의 최대 에너지 파장이 적외선 영역에 존재한다. 따라서 표적과 배경이 방출하는 고유한 복사 에너지 차이(온도 차이)를 검출하여 전기적 신호처리를 거친 뒤 영상화하는 장비가 있을 수 있는데 이러한 장비를 열상장비라 부른다. 열상장비는 빛이 전혀 없는 상태에서도 영상 획득이 용이하여 군사용 감시 장비로 많이 활용되고 있지만 최근에는 송전선로의 이상 유무 판단, 저장 탱크의 저장량 확인, 사스 환자의 체열 검색 등 산업계와 의료계의 이용도 증가하고 있다.

그림 1은 열상장비의 기본 구성을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 표적의 에너지 정보를 적외선 광학계과 주사장치를 통해 순서대로 적외선 검출기에 집속하고, 적외선 검출기는 에너지 정보를 전기적 신호차이로 변화시키며, 적절한 신호처리를 통해 눈으로 볼 수 있는 영상을 재현한다.




- 적외선 광학계 : 표적 에너지(온도) 차이를 적외선 검출기에 집속
- 적외선 검출기 : 표적 에너지(온도) 차이를 전기적 신호로 변환
- 주 사 장 치 : 검출기에 표적 영상정보를 순차적으로 전달
- 신 호 처 리 기 : 미세 전기신호를 증폭, 디지털 처리하여 영상신호로 전환
- 재 현 장 치 : 전기적 영상신호를 눈에 보이는 가시광선 화면으로 재현

그림 1. 열상장비의 기본 구성

적외선은 0.77μm~1mm(1000μm) 파장 대역으로 가시광선과 레이더/통신 파장 영역 사이에 존재하는 전자파이다. 그러나 통상 적외선은 대기투과특성 때문에 1μm 근처의 근적외선, 3~5μm의 중적외선 및 8~12μm의 원적외선 등 일부 영역만이 활용되고 그 밖의 영역은 잘 사용되지 않는다. 그 중에서도 특히 열상장비는 일반적인 군사 표적들이 방출하는 에너지의 파장영역, 검출기의 검출 특성과 대기투과특성으로 3~5μm의 중적외선 및 8~12μm의 원적외선 표적 정보만을 이용한다.

본 논문에서는 480×6배열의 원적외선 적외선 검출소자를 이용한 열상장비 신호처리기의 설계와 제작 기술을 다룬다. 먼저 열상장비 신호처리기의 전체적 구성과 검출기 특성을 살펴보고 주요 신호처리기의 설계 과정을 기술하였으며 제작 결과를 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 열영상 신호처리기 구성

초점면 배열 적외선 검출기(IRFPA : InfraRed Focal Plane Array)를 이용한 원적외선 주사방식 열상장비의 신호처리기는 크게 아날로그 신호처리부(검출 모듈), 디지털 신호처리부(신호처리 모듈) 및 구동 모듈로 설계하였다. 아날로그 신호처리부는 바이어스 및 구동 클럭 발생회로와 출력신호의 아날로그 신호처리 및 AD 변환회로로 구성되며, 디지털 신호처리부는 주사변환, 불균일 보정(NUC: Non Uniformity Correction), 영상의 대조비를 향상 등의 기능을 한다.

그림 2는 설계된 신호처리기의 기본 구성을 나타낸다. 적외선 검출기와 신호처리기의 앞부분에는 적외선 광학계와 주사거울이 부착된 갈바노미터가 있으며 검출소자들의 불균일을 보정하기 위해 기준 온도 신호를 제공하는 열전냉각소자(TEC : Thermo-Electric Cooler)가 영상 정보 영역의 좌우측에 놓이게 된다. 적외선 광학계의 배율 조정이나, 주사장치와 열전냉각소자의 구동은 모두 구동 모듈에서 제어한다.

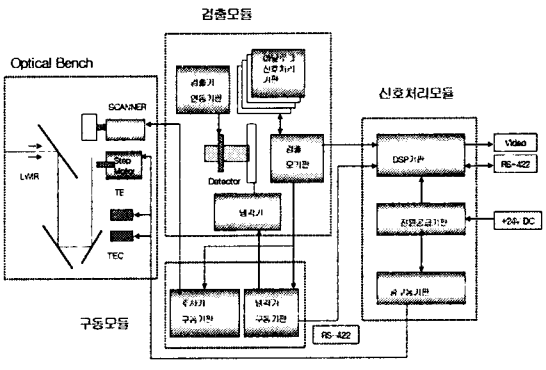



그림 2. 열영상 신호처리기 구성도

### 2.2 적외선 검출기

초점면 배열 적외선 검출기는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 하나는 적외선을 감지하여 전기신호로 변환하는 광 다이오드(photodiode) 부분이며, 다른 하나는 감지소자에서 발생된 전기신호를 영상 신호처리에 적합하도록 순차적으로 읽어내는 판독(readout) 회로이다. 열상장비 설계에 사용된 적외선 검출기의 모델은 프랑스 Sofradir사의 ID TL056으로 감응 파장이 7.7μm~10.3μm인 HgCdTe 소자이다. 광 다이오드의 배열은 480×6개로 판독회로와는 별도의 기판으로 제작되어 인듐으로 연결되어 있다.

판독회로는 고집적이 가능한 실리콘 기판이 주로 이용되며 시간지연적분(TDI : Time Delay Integration) 및 검출신호의 다중화가 CMOS를 이용하여 캐패시터 스위칭 방식으로 처리된다. 횡으로 배열된 6개의 소자가 바로 시간지연적분으로 등잡음온도차(NETD : Noise Equivalent Temperature Difference)를 개선하고 검출신호를 30라인 이상 다중화하여 출력할 수 있다.

사용된 선형배열 검출기(ID TL056)의 사양을 표 1에 요약하였다. 이 검출기는 HgCdTe 재질의 광 다이오드가 그림 3에서 보듯이 수직방향으로 480개 수평방향으로 6개가 배열되어 있다. 따라서 1회의 수평주사에 의해 1 프레임의 영상신호를 획득할 수 있다. 본 열상장비의 설계에서는 1초에 30 프레임의 영상신호를 검출하고, 신호처리를 거쳐 RS-170 신호규격에 따라 1초에 60필드의 영상을 재현하는 비월주사 방식으로 신호처리 회로를 설계하였다.

표 1. 선형배열 검출기(ID TL056) 사양

| 항 목 | 특성 및 규격 |
|---|---|
| • Spectral Range | 7.7μm~10.3μm |
| • Material | HgCdTe(MCT) |
| • Element Size | 28μm×38μm |
| • Element Number | 480×6 |
| • Operating Temperature | 77K |
| • Coldshield F Number | f/2.5 typ. |
| • Pixel NETD | 25mK avg. |
| • Fixed Pattern Noise | 5% RMS |
| • Array Operability | > 99% |
| • Detectivity ($D^*$) @ T=293K, $T_i$=20μs | |
| ✓ Average $D^*$ | > 2.0E11 $cm\sqrt{Hz}/W$ |
| ✓ Minimum $D^*$ | > 6.5E10 $cm\sqrt{Hz}/W$ |
| ✓ Hard Defect $D^*$ | < 3.2E10 $cm\sqrt{Hz}/W$ |

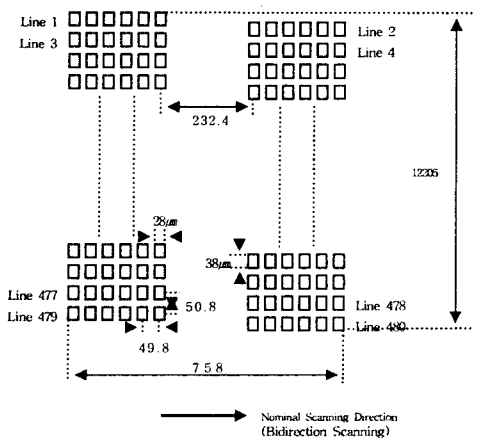



그림 3. 검출기(ID TL056)의 소자배열

### 2.3 아날로그 신호처리부

검출기의 출력신호는 홀수 필드와 짝수 필드로 나뉘어 각각 8개 채널씩 총 16개 채널을 통해 채널 당 30라인씩 다중화하여 출력한다. 검출기 각 검출채널에서 출력되는 검출신호는 초단 버퍼를 통해 AD변환기로 인가한다. AD변환기 출력은 디지털 다중기를 거치면서 2 바이트로 출력되며, 이 디지털 데이터는 16 비트 데이터 버스를 통해 디지털 신호처리부 보드로 전달된다.

검출기 구동을 위한 바이어스는 총 9개가 필요하며 주전원 공급기로부터 10V 전원을 공급받아 전원 안정기 및 OP-AMP를 사용하여 안정된 바이어스가 공급되도록 하였다. 시스템 타이밍 제어에서는 열상장비에 필요한 기본적인 동기신호들인 적외선검출기 구동클럭, 다중화 신호, AD변환 클럭, 수평주사장치 구동신호, 데이터 래치 출력 신호, AD변환기 레지스터 샘플 신호, 프레임 구분 신호 등을 만들어준다. 시스템 타이밍 제어는 아날로그 신호처리 기판에 기본 클럭 발생기와 EPLD를 사용하여 구현하였다. 신호들은 프로그램에 의해 수정될 수 있다. 본 시스템 타이밍 제어에서 사용하는 기본 클럭 발생기의 주파수는 36.288 MHz이며, 기본 클럭을 24분주하여 검출기 구동 클럭(1.512 MHz)을 만들고 기본 클럭을 2분주하여 재현 클럭(18.144 MHz)을 구현하였다.

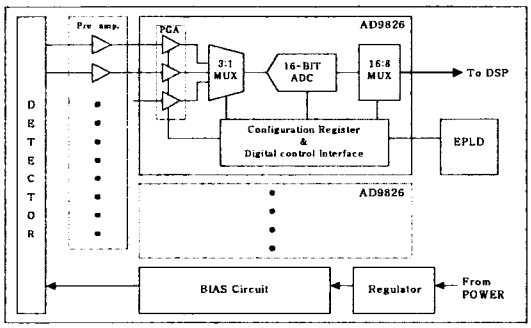



그림 4. 아날로그 신호처리부 구성도

### 2.4 디지털 신호처리부

디지털 신호처리부는 전처리부(Preprocessor), 후처리부(Postprocessor), 영상처리부로 설계하였다.

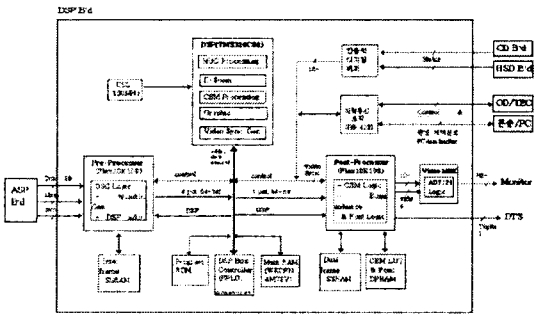


그림 5. 디지털 신호처리부 구성도

검출기로부터 출력된 16채널 영상신호는 아날로그 신호처리부에서 2 채널 입력을 가진 8개의 AD변환기에서 상위 바이트와 하위 바이트로 분리된 상태로 2:1로 다중화되고, 이 데이터는 다시 2:1로 다중화되어 디지털 신호처리부의 전처리부에 입력된다. 전처리부에 입력되는 바이트 단위로 다중화된 데이터는 서로 뒤섞여 있으므로 다음의 처리를 위해서는 완전한 16비트 한 픽셀을 만들어 주어야 하고, 다시 순차적으로 배열해 주어야 한

다. 그리고 검출기 배열 형태에 따른 픽셀의 수평방향으로의 영상신호를 보정하기 위한 픽셀 재배열을 해주어야 한다. 32 비트로 입력된 한 프레임의 픽셀데이터는 전처리부의 자체 프레임 메모리에 저장된다.

영상처리부에서는 독자적으로 검출기 불균일 보정), 열영상 대조비 향상(CEM: Contrast Enhancement Mapping), 영상 전자 확대 처리 등을 소프트웨어적으로 구현하였다. 영상 처리 하드웨어는 고성능 DSP 프로세서와 FPGA 등으로 구성하고, 영상처리 기능을 직접 수행하고 전달하는 부분은 FPGA를 사용하였고 알고리즘 제어 기능은 DSP 프로세서를 이용하여 처리하였다. 전처리부 FPGA가 출력되고 있는 프레임의 입력 영상 데이터를 저장하는 동안 DSP 프로세서에서는 한 프레임 전의 영상처리를 수행한다.

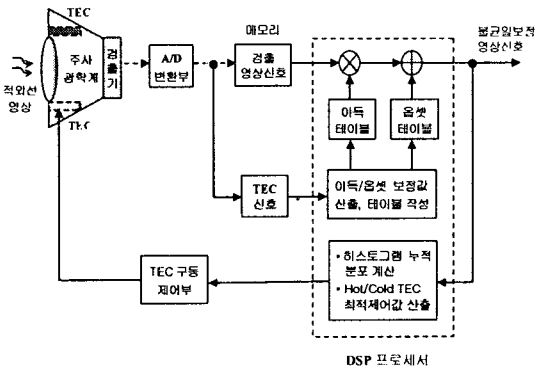



그림 6. 기준온도신호를 이용한 불균일 보정 알고리즘

그림 7. 실시간 불균일 보정 결과

후처리부는 이중 뱅크의 프레임 메모리 구조를 가지며, 후처리부 FPGA에서는 프레임 메모리에 저장된 영상에 대해 대조비 향상 처리, 윤곽선 강조처리(edge enhance) 등을 수행한 뒤, 비디오 동기신호들과 함께 영상신호를 비디오 신호 다중화기로 전달한다. 비디오 신호 다중화기에서는 D/A 변환을 통해 디지털 영상신호를 RS-170 아날로그 영상신호로 만들어 최종적으로 모니터에 재현한다.

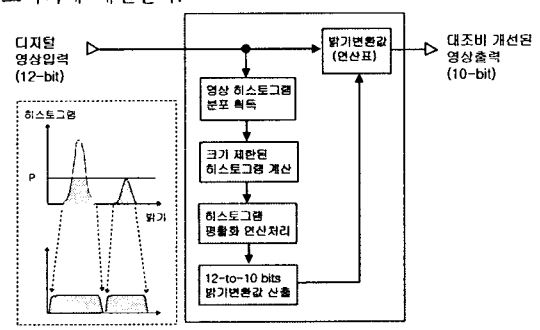



그림 8. 히스토그램 가변방식 대조비 제어 알고리즘

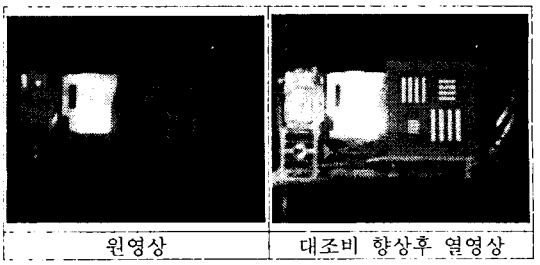



그림 9. 대조비 향상 결과

### 2.5 구동 및 제어부

광학계 구동 및 TEC 제어를 위한 마이크로컨트롤러와 주변 구성품 사이에 원활한 데이터 송수신을 하기 위한 버스제어기는 프로그램 가능한 EPLD 소자를 이용하여 구현하였다. 배율전환을 위한 렌즈구동은 스텝모터에 의해 이루어지며, 스텝모터의 회전과 볼 스크류에 의해 렌즈는 앞뒤 직선운동을 하게 된다. 초점 조절은 배율전환용 이동렌즈를 앞뒤로 미세 이동시킴으로써 조절한다. 열전냉각소자 제어부는 안정된 열영상 획득을 위한 기준표적(흑체)의 온도제어를 위한 부분으로서 2개의 TEC와 구동회로 그리고 2개의 D/A 변환기로 구성하였다.

냉각기 구동회로는 마이크로 컨트롤러를 중심으로 프로그램을 저장하기 위한 메모리와 어드레스 래치 및 디코딩을 담당하는 EPLD가 제어회로로 구성하였고, 구동회로는 정현파 구현을 위한 D/A 변환회로, 냉각기 구동 전압 발생을 위한 직류-직류 변환기와 H-브리지 회로 등으로 구성하였다.

## 3. 결 론

고속 저잡음의 아날로그 및 디지털 신호처리기를 설계하여 미약한 적외선 에너지의 차이를 선명한 열 영상으로 실시간 획득하였다. 480×6의 고밀도 배열 원적외선 적외선 검출 소자를 이용하여 아날로그 및 디지털 신호처리부와 구동모듈로 전체 신호처리기를 구현한 결과 안정된 열 영상 획득이 가능하였다.

특히 2 포인트 기준온도신호 제어를 통한 실시간 불균일 보정 알고리즘을 구현하여 검출소자의 특성차이에 따른 영상의 불균일성을 해소하였고, 히스토그램 가변방식으로 영상 대조비를 개선하여 선명한 영상을 획득하게 하였다.

적외선 광학계를 포함한 열상장비의 최소분해가능온도차(MRTD : Minimum Resolvable Temperature Difference)를 측정한 결과, 1cy/mrad 정도의 크기를 갖는 표적에 대해 0.05 ℃ 이하로 나타나 매우 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]


[1] M.C.Dudzik, edi., Electro Optical Systems Deign, Analysis, and Testing, IR & EO Systems Handbook, vol.4, Infrared Information Analysis Center & SPIE Optical Engineering Press, 1993.

[2] 홍석민, "열상장비 기술 및 발전추세", (월간)국방과 기술, 제303호, pp.26-39, 한국방위산업진흥회, 2004년 5월.

[3] 윤은숙, 유위경, 초점면 배열 열상 신호처리기 구조 분석, 기술보고서, 국방과학연구소, 2003년 12월.