

적외선 센서를 이용한 열상장비의 구현

유 위경^o, 윤 은숙, 김 창우, 송 인섭, 홍 석민
국 방 과 학 연 구 소

Thermal Imager Implementation Using Infrared Sensor

W.K. Yu, E.S. Yoon, C.W. Kim, I.S. Song, S.M. Hong
Agency for Defense Development

Abstract

This paper describes the designed and fabricated thermal imaging system with the SPRITE(Signal Processing In The Element) detector, operating in the 8-12 micron band. This system consists of an afocal telescope, a scan unit containing the SPRITE detector, an electronic processor unit and a cooler. The optical scan system utilizing rotating polygon and oscillating mirror, is 2-dimensional serial/parallel scan type using five elements of the detector. And the electronic processor unit performs digital scan conversion to reform the parallel data stream into serial analog data compatible with conventional RS-170 video. The scan field of view is $40^\circ \times 26.7^\circ$ and the MRTD(Minimum Resolvable Temperature Difference) is 0.6°K at 7.5 cycles/mm. The acquired thermal image indicates that this system has a satisfactory performance.

1. 서 론

인간의 영상정보 획득기능을 가진 눈은 가시광선 영역에 제한되어 사물을 관찰하는데 있어 제약을 받는다. 그에 따른 보완으로 여러 전자광학 영상장비들이 연구 개발되어 사용되고 있으며, 특히 적외선 에너지를 이용한 영상장비들이 최근 각광받고 있다. 적외선 에너지란 지구상에 존재하는 절대온도 0 K 이상의 모든 물체에서 그 온도에 상응하여 방사되는 적외선 복사에너지로 말하며, 이들 적외선 파장은 3-5 μm 와 8-14 μm 대에서 우수한 대기 투과특성을 가진다[1].

이러한 적외선 성질을 이용한 열상장비(thermal imager)는 적외선 검출기로부터 물체가 지니는 적외선 영역의 고유한 복사에너지를 검출한 뒤, 이들 에너지의 적절한 전기적 신호 처리 과정을 통하여 가시광선 영상으로 변환시키는 장비이다[2]. 이러한 열상장비는 군사용으로 개발되기 시작한 이후, 소재 및 전기 전자기술의 발달과 함께 산업 및 의학용으로 광범위하게 응용되고 있는 첨단기술의 영상장비이다.

일반적으로 열상장비의 구성은 크게 주사 광학부와 전기적 인 신호처리부로 나누어 진다. 주사 광학부는 적외선 에너지를 받아 센서인 검출기면에 광학적으로 집속 하는 적외선 광학계와 집속되는 일정 시계 내의 부분에너지들을 순차적으로 검출기면에 나열시켜 2차원 화면을 구성하는 주사장치로 이루어 진다. 검출기는 주사된 적외선 에너지를 전기적 신호로 변환시켜 주는 것으로 요구되는 장비의 성능에 의해 사용되는 검출기의 구조 및 특성이 정해지며, 그에 따른 적합한 광학적인 주사방식이 결정되고 세부적인 광학계의 설계 및 주사구동 위한 정밀 소형모터 제어가 수행된다. 신호처리부는 검출기에서 출력되는 전기적 영상신호를 재현장치의 주사방식에 맞게 재구성하여 전달하는 곳으로, 검출기의 특성과 광학적인 주사 방식 및 재현장치들과 서로 밀접한 관계가 있다. 여기에는 신호의 증폭 및 조정, 동기신호 발생, 고속 주사변환 그리고 영상신호 합성등의 복잡한 아날로그 및 디지털의 전기적 영상 신호처리 과정이 수행된다.

당 소에서 시제품으로 수행된 열상장비는 8-12 μm 대의 HgCdTe 적외선 센서인 8x1 배열의 SPRITE 검출기[3]를 사용하였다. 주사방식은 5개의 검출 소자(element)를 이용한 직병렬 주사로 이루어져 있으며, 검출기를 통한 병렬 신호들은 영상 신호처리 과정을 통해 TV 주사방식의 복합(composite) 영상신호[4]로 변환되어 모니터에 재현된다. 본 논문에서는 이의 구체적인 구현 원리와 광학 및 전기 전자적인 하드웨어 설계 기술에 대해서 소개한다.

2. 시스템 구성 및 제원

본 열상장비의 전체적인 기본 구성은 그림 2.1에 보인 것과 같이 두개의 유닛(unit) 즉 주사부(scan unit)와 신호처리부(electronic processor unit), 그외에 적외선 망원경(afocal telescope), 검출기 작동을 위한 냉각기 그리고 영상 재현장치인 일반 모니터등으로 구성된다.

주사부는 적외선 검출기를 포함하는 수평 및 수직 주사광학계와 신호 증폭 및 조정부가 한 유닛으로 제작되어 있다. 검출기로 사용된 SPRITE는 총 8x1 배열로 되어 있으며 이중 5개의 소자만이 사용된다. 냉각 방식은 striling 엔진의 CCC

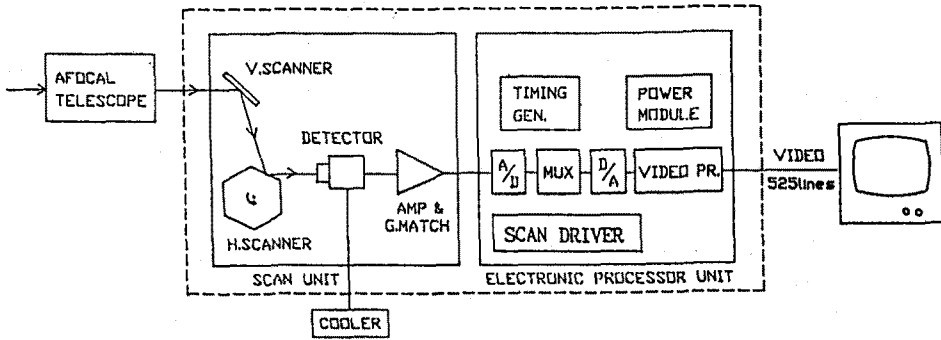


그림 2.1 제작된 열상장비의 시스템 구성도

Fig. 2.1 Schematic diagram of thermal imaging system

(closed cycle cooler) 방식이다. 주사광학계는 이물 소자로부터 2차원 화면을 구성하기 위해 직병렬 주사형태를 취하고 있으며, 회전 다면경과 진동 평면경을 각각 수평 및 수직주사에 사용하여 2차원 적외선 에너지를 검출기면에 집중 나열시킨다. 그림 2.2는 직병렬 주사광학계에 의한 필드(field) 단위의 주사패턴도 이다.

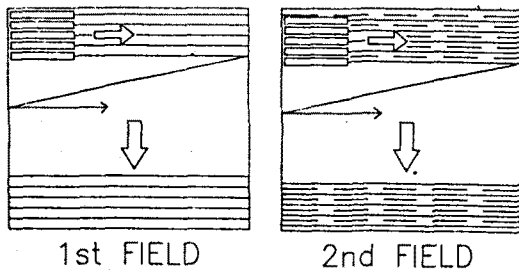


그림 2.2 직병렬 주사패턴

Fig. 2.2 Serial/parallel scan pattern

신호 증폭 및 조정회로에서는 미소 검출기 출력 신호를 뒷단의 신호처리부에서 요구되는 충분한 크기의 신호로 증폭하며, 각 소자간의 바이어스(bias) 조정과 함께 이득 제어 및 DC 보상(restoration), 나르시소스(narcissus) 펄스 검출등이 이루어진다.

신호처리부는 증폭된 5개의 병렬신호들을 직렬신호로 변환하고 NTSC(National Television Systems Committee) 동기 규격에 맞게 복합 영상신호로 재구성하여 모니터에 전달한다. 이를 위해 영상 신호처리부와 동기 신호발생부로 구성되며, 아울러 주사 구동회로와 전원 공급부도 함께 제작되어 있다. 영상 신호처리부에서는 A/D 및 D/A 변환기와 두 그룹(group)의 메모리 뱅크(memory bank)를 이용한 고속 디지털 주사변환과 복합 영상신호 합성이 수행된다.

그리고 동기 신호발생부는 25.2 MHz에서 분기된 12.6 MHz와 5.04 MHz를 이용하여 주사 구동장치와 주사변환 및 재현장치들에 필요한 NTSC 동기파형과 타이밍(timing)을 만들며, 나르시소스 펄스로부터 전체적인 시스템의 동기를 제어한다.

전원 공급부는 24V를 입력으로 하는 DC to DC 변환기를 사

용하여 각 회로에 공급되며, 주사 구동회로와 신호 증폭회로의 전원은 노이즈 방지를 위해 분리하였다.

본 시스템의 주요 성능 및 제한은 표 2.1과 같다. 다음 3장 및 4장에서는 시스템의 주요 구성부에 대한 구원 원리와 방법에 대해서 설명한다.

표 2.1 시스템의 주요 성능 및 제한

Table 2.1 Technical data of the system

* Wavelength range	8 ~ 12 μ m
* MRTD	0.6° K at 7.5 cycles/mm (detector plane)
* Detector: Type	SPRITE, 8-elements CMT
No. of active elements	5
* Cooler	J-T OCC/OCC 77 K
* Scan FOV: Horizontal	40°
Vertical	25.67°
* Scanners: Field rate	60 Hz
Frame rate	30 Hz
Polygon	6 facets, 31500 rpm
Interlacing	2 : 1
Video output	RS-170 TV compatible
* Display: Aspect ratio	3 / 2
Active display line	420 TV lines
* Optical performance	diffraction limited
* Afocal telescope	$\times 6$
* Optical transmittance(total)	65 % Min.

3. 주사 광학부

3.1 적외선 검출기

본 장비에 사용된 SPRITE 검출기는 종래의 TDI(time delayed integration) 방식 검출기와는 달리, 주사방향을 따라 길게 만들어진 띠 모양의 소자내에서 신호의 연속적인 적분을 수행한다[3]. 따라서 부가적인 증폭 및 시간지연 회로들이 필요없다. 동작 원리는 그림 3.1에서와 같이 검출기 양단에 바이어스 전압을 가하면 전자가 움직이고, 그 속도는 이동도(mobility)와 바이어스 전압으로 결정된다. 전자 이동속도에

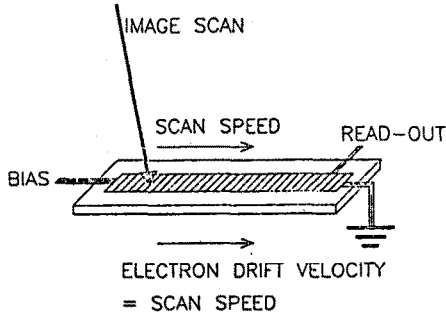


그림 3.1 SPRITE 검출기의 동작원리
Fig. 3.1 Concept of SPRITE detector

맞추어 영상을 주사하면 그에 따라 생성된 전자가 검출기면에서의 영상과 같은 속도로 움직이면서 새로 생성되는 전자와 합쳐지게 되며, 검출기의 출력단자 가까이에서는 신호가 증폭된다.

정확한 영상신호를 얻으려면 전자의 이동속도와 주사속도를 일치시켜야 한다. 결국 바이어스 전압의 정밀조정과 안정도가 영상 화질에 중요한 영향을 미친다.

3.2 주사 광학계

본 시스템의 직병렬 주사 광학계 구성은 그림 3.2와 같다. 수직 주사에 진동평면경, 수평 주사에는 육면체의 회전평면경을 사용한다.

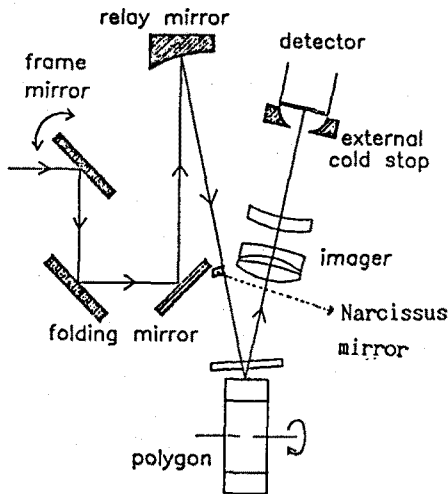


그림 3.2 직병렬 주사광학계
Fig. 3.2 Serial/parallel scan optics

광학계 입사동에 위치한 진동평면경에 적외선 에너지가 입사되면, 구면경을 통해 회전평면경에 전달되고 결상렌즈에 의해 검출기에 집속된다. 이러한 광학계 설계에는 렌즈 재질에 따른 여러 특성과 광학계의 왜곡 수차 및 동수차등이 고려된다[5]. 설계된 광학계의 주사 시야는 40×26.7 이고, 분해능

은 1.0 mrad 이며, f/number 는 3.0 이다.

그리고 수평시계 바깥 양쪽에 나르시소스 거울과 기준 온도 소스(temperature reference source)를 설치하여 수평 주사의 동기 검출과 신호의 DC 보상에 이용하게 했다.

3.3 주사 구동장치

수평 주사용 히스테리시스(hysteresis) 동기 모터는 가스 베어링(bearing) 구조의 3상 모터로서, 초당 30 프레임(frame)의 영상을 얻기 위해 31500 rpm 으로 고속 회전한다. 사용된 모터는 입력 구동 펄스와 동기성이 뛰어나며, 펄스 주파수에 의해 회전속도가 제어된다. 나르시소스 펄스에 의해 실제 회전속도가 검출되면, 기준 입력 펄스와 비교하여, 그 오차 성분으로부터 PID(Proportional Integral Derivative) 제어된 구동 입력 펄스로 회전 속도를 제어한다. 동시에 구동 전압의 크기를 조절하여 모터의 응답 속도와 동기성을 증대시킨다.

수직 주사용 모터는 선형성(Linearity)이 좋고 응답이 빠른 galvanometric 모터가 사용된다. 구동 회로는 모터에 내장된 위치센서를 이용하여 PID 제어로 구성되며, 제어된 60 Hz 의 플리파를 모터에 인가하여, 모니터의 수직 주사와 같은 속도로 구동시킨다.

4. 신호처리부

4.1 소신호 증폭 및 조정부

잡음특성이 우수한 초저잡음 증폭기(SL561B)를 사용하여 수십 μV 정도의 미약한 검출기 신호를 영상 신호처리에 적합한 충분한 크기(2 Vp-p)로 증폭한다. 이들 증폭 및 바이어스 회로는 검출기 가까이 설치되며, 전자기적으로 차폐된다. 그림 4.1은 4 개의 바(bar) 패턴 입력시 증폭기를 통해 출력되는 수평 한 라인(line)의 신호성분들이다.

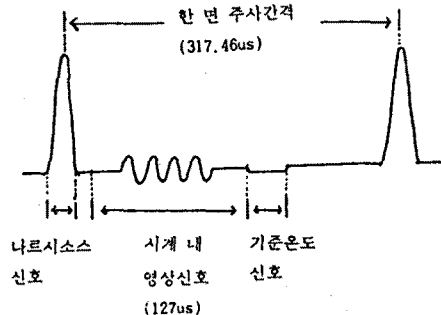


그림 4.1 증폭기를 통한 한 라인 출력신호
Fig. 4.1 Output signal of amplifier

AC 결합(coupling)에 의해 증폭된 신호는 영상신호의 크기에 따라 동일 온도에 대한 신호 레벨(level)이 변하며, 기준 온도신호도 같이 변한다. 이러한 신호 변화는 기준온도 신호에 의해 다음 주사기간 동안 보상된다.

나르시소스 신호는 미분기를 통해 검출되어 동기 신호발생부로 전달되며, 모터 속도 및 동기 펄스 제어에 이용된다.

4.2 영상 신호처리부

그림 4.2는 메모리 뱅크를 이용한 고속 디지털 주사변환 흐름도와 타이밍을 나타낸다. 5채널의 병렬 영상신호들은 동시에 샘플링(sampling)되어 한쪽 메모리 뱅크에 저장되며, 그동안 다른 쪽 메모리 뱅크에 저장된 이전의 병렬 영상신호들은 NTSC 신호규격에 맞게, 채널 1에서부터 순차적으로 D/A 변환된다. 메모리 뱅크의 전환은 한 면 주사간격을 주기로 이루어지게 된다.

직렬 신호로 재구성된 아날로그 영상신호는 모니터 재현에 필요한 동기 신호들과의 조합을 통하여 최종 복합 영상신호로 만들어 진다.

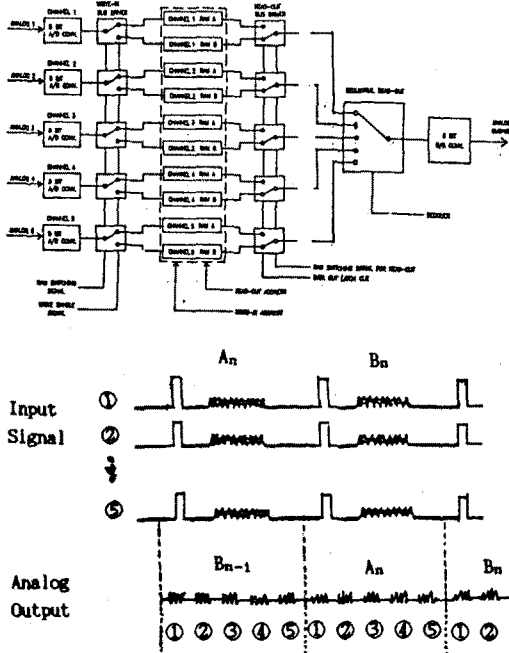


그림 4.2 주사 변환 흐름도 및 타이밍
Fig. 4.2 Scan converter block diagram and timing

4.3 동기 신호발생부

여기서는 기계적인 주사 장치와 전자적인 신호처리부 및 모니터간의 동기와 통제를 통하여 정확한 NTSC 영상신호를 구성하게 하며, 이를위한 각종 타이밍과 동기신호들을 발생한다. 시스템 클락은 25.2MHz이며, 이를 분기한 12.6MHz가 주 클락으로 이용된다. 4개의 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)과 카운트(count)들로부터 모니터와 주사 변환기에 필요한 수평 수직 동기신호들이 발생된다.

초기 영상신호의 획득은 정상상태에 도달된 나르시시스 펄스의 검출로 동기 신호발생부가 활성화 되면서 시작한다. 이후 나르시시스 펄스는 수평 주사 매 라인의 영상 시작점을 알려주며, 각종 타이밍의 동기를 제어하는데 이용된다. 수평 주사 모터의 회전속도가 변하면 나르시시스 펄스의 위상이 변하고, 그에 따라 전체 시스템의 동기가 조정되어 안정된 영상을 얻는다.

5. 장비 작동 결과 및 분석

아래 그림들은 시제품으로 제작된 본 열상장비의 사진과 모니터에 재현된 열 영상 화면을 보여주고 있다.

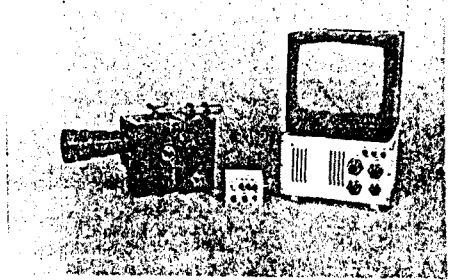
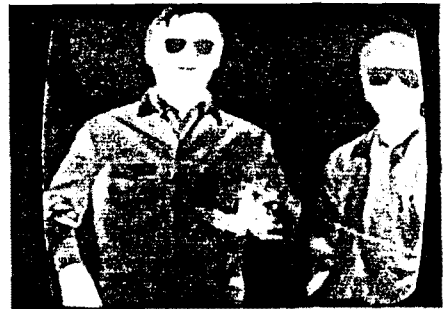


그림 5.1 제작된 열상장비
Fig. 5.1 Fabricated thermal imager



a) 실내



b) 실외

그림 5.2 모니터에 재현된 열 영상
Fig. 5.2 Displayed thermal image

그림에서 보는 바와 같이 비교적 만족할 만한 영상이 획득되었다. 그러나 아직 잡음이 충분히 제거되지 않았으며, 해상도(resolution)도 떨어진다.

이의 개선하기 위해, 차후 연구 수행시 광학계의 최적 설계와 신호처리부의 전기적인 잡음제거 및 화질 개선을 위한 실시간 디지털 영상처리 기술등이 요구된다. 아울러 화면의 전기적 배율 변환과 문자 및 망선처리등의 부가기능도 추가되어야 한다.

6. 결 론

본 논문에서는 SPRITE 검출기를 이용한 8 - 12 μ m 파장대의 열상장비 구현 원리와 제작 방법에 대해서 기술하였다. 직렬 주사방식의 광학계로부터 적외선 에너지를 받아, 센서인 검출기를 통해 신호처리부에서 TV 영상신호로 재현하는 일련의 열 영상 획득과정이 자세히 언급되었으며, 이는 국내에서 처음으로 수행된 것이다.

이러한 열상장비는 최근 군사용 뿐아니라, 건물의 열손실 탐지, 토양 분석, 반도체와 PCB 품질 검사, 위성에 의한 기상 관측등 산업 전반에 걸쳐 이용될 수 있으며, 점점 그 활용 폭이 넓혀지고 있다.

향후 열상장비의 개발 추세는 초점면 배열(focal plane array)[6] 검출기를 사용한 2세대 열상장비가 주종을 이룰 것으로 예상되며, 이에 대한 연구들이 병행되어야 한다. 앞으로 학계 및 업계와의 적외선 센서 분야에 대한 연구 및 성과들이 보다 원활히 교류되어 유기적이고 효과적인 연구가 진행되기를 바란다.

참 고 문 헌

- [1] R.D.Hudson, Infrared System Engineering, John Wiley & Sons, New York, 1969
- [2] J.M.Lloyd, Thermal Imaging System, Plenum press, New York, 1973
- [3] S.P.Braim, A.Foord and M.W.Thmas, Infrared Phys., Vol. 29, 1989
- [4] Bernard Grob, Basic TV & video system, McGRAW-HILL, 1984
- [5] W.J.Smith, Modern Optical Engineering, McGRAW-HILL, New York, 1966
- [6] P.R.Norton, "Infrared image sensors," Optical Engineering, Vol.30, no.11, pp.1649-1663, Nov. 1991