

열적외선 이미지를 이용한 영상 처리

정병조^{1*}, 장성환¹
¹원광대학교 전기공학과

Image Processing using Thermal Infrared Image

Jeong Byoung-Jo^{1*} and Jang Sung-Whan¹

¹Department of Electrical Engineering, Wonkwang University

요약 본 논문은 열적외선 카메라 이미지를 영상 처리 기법을 활용하여 실시간으로 구현하는데 그 목적이 있다. 열적외선 영상 데이터는 온도의 변화에 따라 Hot Mapping, Cool Mapping, Rainbow Mapping을 하였으며, 열적외선 이미지의 명암대비 기능을 알아보기 위해 히스토그램 영상처리 기법을 사용하였고, 물체의 구분을 위해서 열적외선 이미지의 에지 부분을 추출하였다. 또한 이미지에서 온도를 추출해 내기 위해 이미지 정보 프로그램을 만들어 온도를 측정할 수 있었다.

Abstract This study applied image processing techniques, constructed to real-time, to thermal infrared camera image. Thermal infrared image data was utilized for hot mapping, cool mapping, and rainbow mapping according to changing temperature. It was histogram image processing techniques so that detected shade contrast function of the thermal infrared image, and the thermal infrared image's edge was extracted to classification of object. Moreover, extraction of temperature from image was measured by using the image information program.

Key Words : Thermal Infrared Camera, Infrared Sensor, Image Processing, Long-wavelength, Mapping.

1. 서론

열적외선 카메라는 외부로부터 빛의 공급이 없어도 물체가 방사하는 복사에너지를 모아 적절한 변환을 통해 가시화하여 쉽게 인식할 수 있도록 만들어 주는 장비이다. 가시광선의 유무나 반사되는 빛의 세기 차이로 관측하는 기존의 영상장비와는 다르다. 물체의 단위 면적당, 단위 시간당 방출되는 복사에너지 즉, 복사에미턴스(Radiantemittance 또는 Exitance)의 차이를 영상화하므로 빛이 전혀 없는 야간이라 할지라도 관측이 가능하다. 더욱이 시계가 불량한 대기조건에서도 비교적 양호한 표적 탐지능력을 갖기 때문에 군사용 장비로 개발되기 시작하였다.

개발 초기에는 적외선 검출기의 응답시간 지연으로 실시간 열영상 구현이 불가능했지만 1950년대 초반에 검출재료의 개발과 냉각방식의 도입으로 짧은 시정수를 갖는 소자가 제작되었고, 1970년대 중반 이후 본격적으로 군

사용의 야간 관측이나 사격 통제 장비로 이용되기 시작하였다.[1]

센서의 경우 70년대 중반 이후 미국의 병렬주사 방식을 필두로 하여, 70년대 말 직렬주사 방식, 그리고 80년대 중반 이후에 영국, 프랑스의 직병렬주사 방식에 이르기까지 여러 형태의 1세대 센서들이 개발되었다. 한편, 80년대 중반 이후부터는 분해능 및 탐지성능이 보다 우수하고 신뢰성이 강화된 2세대 및 3세대 센서의 연구가 시작되었다. 1세대 센서의 경우 검출 소자 제작의 어려움으로 소자 수가 10~200여개까지로 제한되어 충분한 영상의 분해능을 확보하기 어려웠다. 이에 비해 2세대 및 3세대(2세대는 고밀도의 수직배열 검출소자를 이용하여 수평방향으로 주사하므로써 영상을 구현하는 방식을 말하며 3세대는 완전한 2차원 배열의 검출기를 이용하여 영상을 구현하는 방식을 의미)로 불리는 초점면 배열 검출(IRFPA: InfraRed Focal Plane Array)방식 센서는 기존에 비해 열 분해능이 우수하고 화소수가 수천~수십만

본 논문은 2008년도 원광대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.

*교신저자 : 정병조(imati@hanmail.net)

접수일 09년 04월 07일 수정일 09년 04월 23일

게재확정일 09년 07월 23일

개로 대폭 증가되어 광학적 분해능도 향상되었다.[2]

센서 방식과 검출 재료의 개발로 인해 다양한 분야에 적용하기 위해 연구가 지속되었고, 국내에서도 광학계 설계 및 센서 부분에 대해 연구가 진행 되었다.

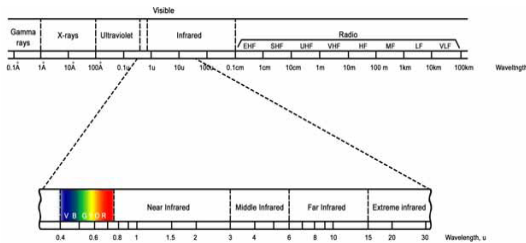
본 논문에서는 이런 열적외선 센서가 부착된 카메라를 이용하여 사물을 촬영하고 그 촬영된 이미지를 다양한 영상 처리 기법을 사용하여 영상 처리를 하였다.

2. 본론

2.1 파장

사람의 눈이 빛을 느끼기 위해서는 $0.38 \sim 0.77 \mu\text{m}$ 파장 영역 내에서 충분한 세기의 전자파가 눈에 들어와야 하며 그 외의 파장영역의 빛은 아무리 충분한 세기로 들어와도 감지하지 못한다. 일반적인 상온정도($300\text{K} = 27^\circ\text{C}$)의 물체가 발하는 에너지 영역은 가시광선의 스펙트럼 영역과는 거의 독립적이기 때문에 눈에 보이지 않는다.

적외선은 $0.77 \sim 1,000 \mu\text{m}$ 파장 대역으로 가시광선과 레이다/라디오 파장 영역 사이에 존재하는 전자파이다. 그림 1에 가시광선 및 적외선 스펙트럼의 분포를 나타내었다.[1]

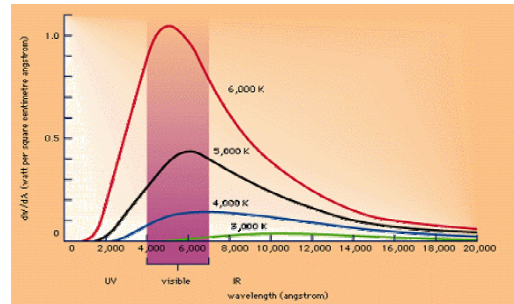


[그림 1] 가시광선 및 적외선 스펙트럼 분포

모든 물체는 절대온도 0도(-273°C)이상에서 물질을 이루고 있는 기본 단위인 원자들이 미소한 진동을 하고 있다. 이러한 원자들의 진동 에너지가 적외선 영역의 에너지와 동일하기 때문에 모든 물체는 적외선을 방출하고 있다. 그리고 온도가 높으면 높을수록 더 많은 양의 적외선이 발산하게 되는데 이러한 이유에서 적외선을 열선이라 부른다. 그러나 모든 물체에서 동일한 적외선이 나오는 것이 아니며, 적외선의 많고 적음을 방사율이라 한다.

방사율은 0~1까지의 값을 가지는 것으로, 이상적인 물체의 경우 방사율은 1이 된다. 이러한 물체를 흑체(Blackbody)라 한다. 세라믹 계열의 재료들의 방사율은 대부분 0.9이상의 값을 가지며, 금속 계통은 0.5이하의 값

을 가진다. 적외선과 온도와의 관계를 이해하려면 흑체의 적외선 방사현상을 이해해야 한다. 이 물리현상은 1900년대 초 여러 물리학자들이 의해 연구되었으며, Planck라는 과학자에 의해 체계적으로 정립되었다. 흑체란 색깔이 검다는 것을 의미하는 것이 아니다. 빛이 흑체 내부로 들어가게 되면 다시 밖으로 나오지 않아 결국 흑체 내부에서 완전히 흡수됨을 뜻한다. 즉, 흑체에 열을 가하면 이 열은 모두 흑체에 흡수되며, 열은 적외선이라는 형태로 손실 없이 나온다는 것을 의미한다. 흑체와 온도관계는 그림 2와 같다.

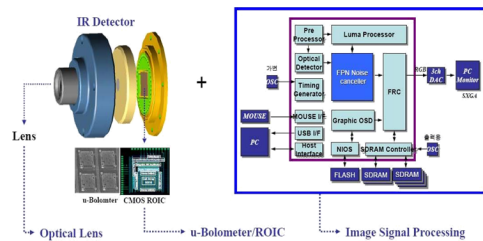


[그림 2] 특정온도를 갖는 흑체의 분광 복사 에미턴스

그림 2에서 가로축은 파장, 세로축은 적외선 복사량을 나타낸다. 즉, 온도가 상승하면 적외선이 방출 파장의 최대값은 단파장 쪽으로 이동하고 온도가 낮을수록 파장의 최대값은 장파장 쪽으로 이동함을 의미한다. 그리고 300K인 상온에서는 파장의 최대값이 $10 \mu\text{m}$ 근처이며, 500K의 온도에서는 $5 \mu\text{m}$ 근처에서 최대값을 가진다.[1]

2.2 열적외선 카메라

열적외선 카메라의 구성은 사용하는 파장, 요구되는 성능, 검출기, 적외선 검출 방법 등에 따라서 달라진다. 기본적으로 열적외선 카메라는 광학렌즈부분, 적외선감지센서부분(μ -Bolometer/ ROIC), 이미지 구현 부분으로 구성되어 있으며, 그림 3은 열적외선 카메라의 구성도를 나타낸다.[9]



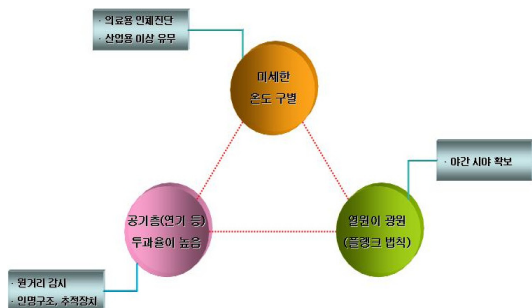
[그림 3] 열적외선 카메라의 구성도

그림 4는 열적외선 카메라의 구성부분들이 요구하는 기술과 요소들을 나타내고 있다.



[그림 4] 열적외선 카메라의 구성과 요소

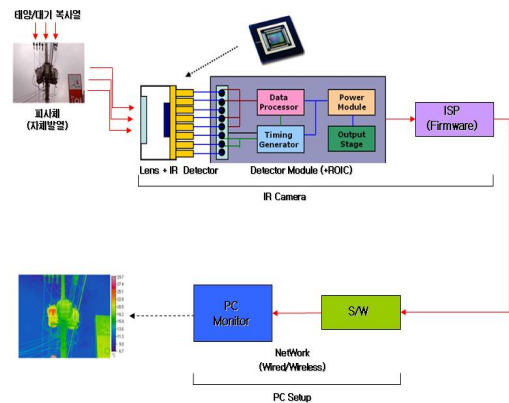
열적외선 카메라의 특징은 우선, 미세 입자에 대한 투과율이 높아 원거리 감시용, 인명구조, 추적 장치에 유리하다. 두 번째, 별도의 광원을 필요로 하지 않아 야간 시야확보가 가능하여 보안 및 군사 분야 활용에 적합하다. 세 번째, 미세한 온도를 식별이 가능하여 의료용 체열진단이 가능하고 제조 생산 산업현장의 모니터링에 적합하다. 그림 5는 열적외선 카메라의 특징을 나타내었다.



[그림 5] 열적외선 카메라 특징

열적외선 카메라는 주로 열상 신호 감지 기능만을 구현해왔다. 특수 분야인 체열영상의료장비 및 군사용 장비에 주로 사용되어 왔으나, 최근 광학적 해상도가 크게 증가되고 응용범위 또한 일반산업분야 및 전자제품으로 확대되고 있어 생활주변 활용도가 크게 증가하고 있는 추세이다.

열적외선 카메라는 태양 및 대기의 복사열과 피사체 자체에서 발생하는 복사에너지를 렌즈에서 집광하고 센서에서 감지하여 신호를 발생 한다. 발생된 신호는 S/W를 통해 이미지화되며, 모니터 등 디스플레이 장치를 통해 영상을 보게 된다. 그림 6은 열적외선 카메라의 원리를 나타낸다.

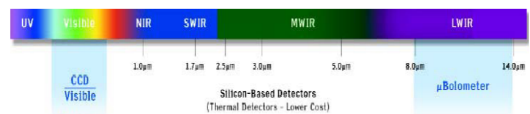


[그림 6] 열적외선 카메라의 원리

2.3 열적외선 카메라 센서

근적외선의 경우, 가시광선(0.4~0.7 μ m) 영역에서 벗어나 사람의 육안으로 볼 수 없는 광선이다. 근적외선 카메라의 경우 미소의 광원이 필요하며, 일상에서도 쉽게 접할 수 있다. 원적외선의 경우, 장파장 대역으로 물체가 방사하는 복사에너지를 감지하며, 육안으로는 식별이 불가능하다. 따라서 장파장을 인식하는 특수한 광학계와 센서를 이용해야만 식별할 수 있다.

그림 7은 파장에 따라 이용되는 센서의 분류를 나타내며, 열적외선 카메라는 8~14 μ m 파장 대역을 감지하는 센서인 μ -Bolometer를 사용한다.



[그림 7] 파장에 따른 센서의 분류

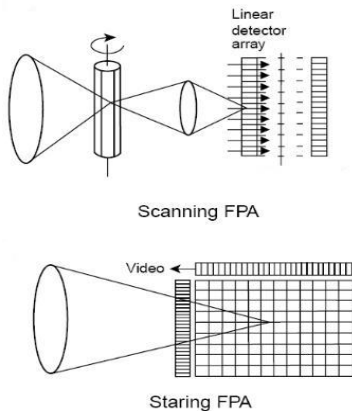
열적외선 카메라에 사용되는 센서는 물체에서 발생하는 적외선 복사열을 감지함으로써 빛이 없는 곳에서도 물체를 인식하는 특징을 갖는다. 이를 위해 피사체가 방사하는 복사열을 정밀하게 감지할 수 있는 광학계와 센서의 제작 기술이 요구된다.

2.4 열적외선 영상신호처리 기술

열상장비의 신호처리부는 적외선 검출기에서 나오는 전기적 영상정보를 재현장치에 가시광선으로 재구성하는 역할을 한다. 일반적으로 적외선 검출기에서 나오는 신호 정보는 수 μ V ~ 수 mV정도로 매우 미약하므로 영상재현에 필요한 전압 레벨로 바꾸어 주는 증폭기, 동시에 몇 개의 검출소자로부터 나오는 병렬신호를 비디오 영상 재

현에 적절하게 직렬신호로 변환하는 Multiplexer, 비디오 복합영상 신호를 구현하고 화면 조정기능을 수행하는 영상처리기 및 주사장치와 재현장치의 동기를 일정하게 맞추어 주는 동기신호 발생기가 신호처리부의 기본 구성이 된다. 이 밖에도 각 전자회로 부분에 전원을 공급하여 주는 전원공급기가 있으며, 수평 및 수직 주사 거울을 구동하기 위한 모터 구동 및 제어 회로도 필요하다.

열영상을 화면에 재현하여 실시간으로 관측하기 위해서는 화면을 1초에 25~30번 정도 재현하여야 하므로 단일 검출 소자로 영상을 구현하는 경우 주사속도가 대단히 빨라지고 요구되는 신호 대역폭이 커서 출력은 그에 상응하는 많은 잡음을 가지게 된다. 따라서 단일 소자 검출기를 이용하는 열상장비는 그 성능이 제한되어 점차 여러 개의 검출기로 구성된 동일 특성의 배열 검출기가 실용화 되었다.[1] 검출 소자로부터 열상을 얻는 방식에는 그림 8에서 볼 수 있듯이 라인 스캐닝 방식에 의한 것과 초점면 배열 또는 스타링 방식이 있다. 라인 스캐닝 방식은 한 라인 또는 몇 개의 라인 형태로 검출 소자를 배열하여 신호를 얻어내는 것이다. 이런 방식의 센서는 열상의 프레임에서 라인 수를 목적에 맞게 늘리거나 줄임으로써 해상도의 조정이 가능하지만 정밀한 광학 메카니즘과 신호처리가 요구된다. 초점면 배열 방식은 프레임의 해상도가 고정되어 있으며, 각 픽셀이 2차원 배열로 결정된 위치를 가지고 있다. 각 픽셀이 외부로 신호를 출력할 시에는 각 픽셀에서 모아진 복사에너지를 취득회로에서 전기 신호로 변환, 증폭하여 출력시킴으로써 영상신호를 발생시켜준다. 이 때, 광학부에 적외선 렌즈를 부착하고, 센서 유닛과 접속하여 비디오 신호를 입력받아 처리하면 열상 프레임을 구성할 수 있어 열상 시스템의 구조가 아주 단순해질 수 있다.[8]



[그림 8] 적외선 센싱 방식

3. 실험방법

3.1 실험장치

적외선 카메라와 CCD 카메라를 케이스로 고정하고 카메라의 수평방향 운동을 지지하는 Arm에 부착하여 컴퓨터, 프린터 등의 전체시스템과 연결하여 하드웨어를 구성하였다. 적외선 이미지와 CCD 이미지의 Fusion 기능으로 불분명한 적외선 이미지의 형체를 보다 확실히 식별 가능하고 원하는 온도범위 내의 부분만 볼 수 있다. 그림 9는 실제 제작된 열적외선 카메라와 CCD 카메라를 나타낸다. 그림 10은 컴퓨터와 연결된 열적외선 카메라를 나타낸다.



[그림 9] 제작된 열적외선 카메라



[그림 10] 컴퓨터와 연결된 열적외선 카메라

0°C~40°C 영역의 온도를 0.1°C 이하의 감도로 측정이 가능한 첨단 uncooled focal plane array를 이용한 이미징 시스템을 이용하여 실시간으로 영상을 처리하는 적외선 촬영시스템을 구축하였다.

기존의 thermogram과 달리 신체의 상대적인 온도분포뿐만 아니라 절대온도를 측정함으로써 데이터의 객관성을 높여 local inflammation을 실시간으로 빠르게 진단할 수 있는 user-friendly 한 소프트웨어를 개발하였다.

3.2 열적외선 이미지 및 영상처리

그림 11에서 그림 13은 CCD 카메라 이미지와 열적외선 카메라를 이용하여 촬영한 열영상 이미지이다. 그림 11과 그림 12에서 열영상 이미지 중 온도가 높은 부분일수록 검은색으로 나타내었으며, 그림 13의 열영상 이미

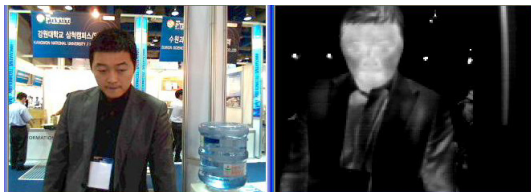
지는 온도가 높을수록 하얀색으로 이미지를 영상 처리하였다.



[그림 11] CCD 이미지와 열적외선 이미지1

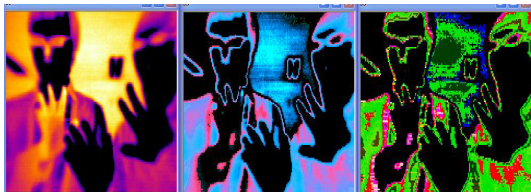


[그림 12] CCD 이미지와 열적외선 이미지2

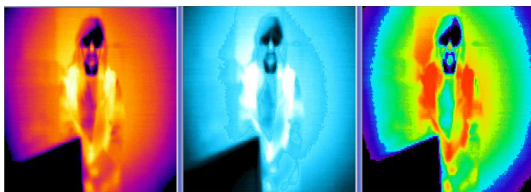


[그림 13] CCD 이미지와 열적외선 이미지3

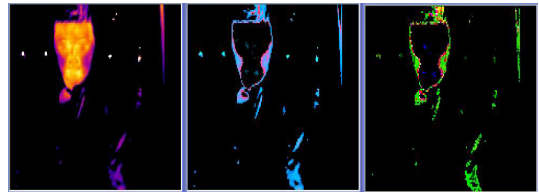
위의 열영상 이미지를 영상처리 기법을 활용하여 높은 온도에서는 Hot Mapping을 낮은 온도에서는 Cool Mapping을 온도의 대비를 확인하기 위해서 Rainbow Mapping을 사용하여 영상처리를 하였다.



[그림 14] Hot, Cool, RainBow Mapping1

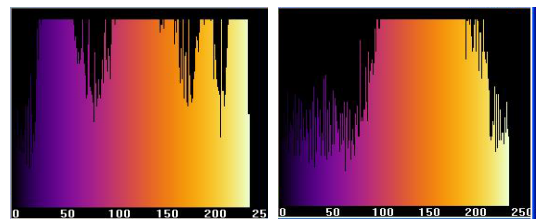


[그림 15] Hot, Cool, RainBow Mapping2

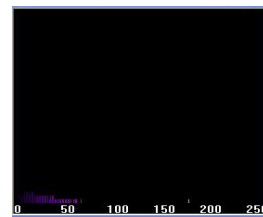


[그림 16] Hot, Cool, RainBow Mapping3

적외선 이미지의 명암값 프로파일을 보여주기 위해 사용되는 도구인 히스토그램을 사용하였다.[3] 이 히스토그램을 이용하면 영상의 정보를 알 수 있고, 히스토그램을 조작하면 영상의 질도 높일 수 있으므로 유용하게 사용될 수 있다.

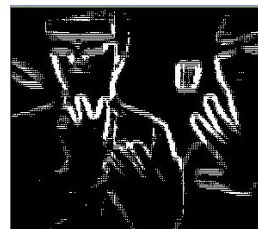


[그림 17] Histogram 출력1 [그림 18] Histogram 출력2

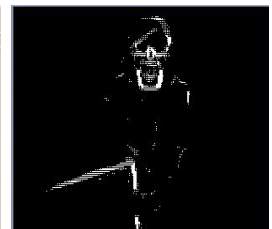


[그림 19] Histogram 출력3

사람들은 밝기 변화가 있는 에지로 인하여 무의식적으로 물체의 구분이 가능하다.[3] 특별히 열적외선 이미지의 에지부분의 이미지를 따로 출력해 보았다. 그림 20에서 그림 22와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



[그림 20] 에지출력1

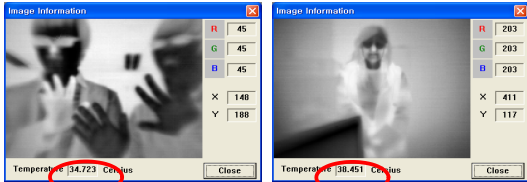


[그림 21] 에지출력2

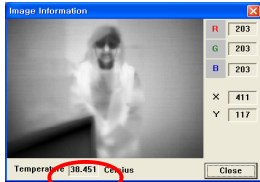


[그림 22] 에지출력2

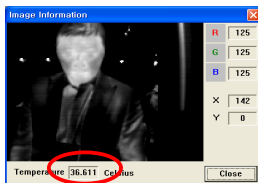
영상정보 출력에서 위치값을 지정하여 적외선 이미지의 밝기값에 따라 온도를 측정할 수 있다. 그림 23에서 손바닥부분의 온도를 측정해본 결과 34.723℃를 나타내었고, 그림 24에서는 얼굴부분을 측정해 보았더니 38.451℃를 나타내었다. 그림 2]에서 얼굴부분의 온도를 측정해 보았더니 36.611℃를 나타내었다. 열적외선 카메라에 온도센서가 내장되어 있기 때문에 온도 측정을 할 수 있다.



[그림 23] 온도 측정1



[그림 24] 온도 측정2



[그림 25] 온도 측정3

4. 결론

본 논문의 영상처리 방법을 이용하면 운동 전후 또는 운동 트레이너의 처방 전후의 인체 온도 분포(혈액 순환)를 측정하기 위한 헬스 케어 분야에 적용할 수 있다. 또한 산업 시설 및 장비 등의 예방과 예보적인 진단, 상태 모니터링, 구조적 보전검사, 품질 관리, 공정 관리 및 연구와 개발 등으로 발전소, 변전소, 전자, 제철, 에너지 관리 열분석 등에 활용가능하다.

참고문헌

[1] 홍석민, 송인섭, “열상장비 개요”, 물리학과 첨단기술, 1998.

[2] 홍석민, 송인섭, 김창우, 유위경, 김현숙, “320x240 적외선 검출기를 이용한 열상센서 설계”, 한국광학회지 제15권, 제5호, 2004. 10.
 [3] 정성환, 이문호, “오픈소스 CxImage를 이용한 Visual C++ 디지털영상처리”, 홍릉과학출판사, 2006.
 [4] Warren J smith, “Modern Lens Design: A Resource Manual”, The McGraw-Hill Professional Companies, New York, 1992.
 [5] Rudolf Hartmann/Warren J. Smith, “Infrared Optical Design and Fabrication: Proceeding of a Conference held 2-3 April”, Society of Photo Optical, Orlando, Florida, 1991.
 [6] J. M. Loyd, “Thermal Imaging Systems”, Plenum Press, New York, pp. 212-368, 1975.
 [7] G. Gaussorgues, “Infrared Thermography“, Chapman & Hall, London, pp. 1-60, 1994.
 [8] H. S. Kim, C. W. Kim, and S. M. Hong, “Compact midwavelength infrared zoom camera with 20:1 zoom range and automatic athermalization”, Optical Engineering, vol. 41(7), pp, 1661-1667, 2002.

정병조(Jeong Byoung-Jo)

[정회원]



- 2004년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 대학원 전기공학과(박사과정)
- 2006년 12월 ~ 2008년 7월 : (주)삼성기전 책임연구원
- 2008년 12월 ~ 현재 : (주)KNWALDEX 책임연구원

<관심분야>

자동제어, 영상처리

장성환(Jang Sung-Whan)

[정회원]



- 1982년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1985년 3월 ~ 1986년 2월 : Northwestern University 전기및 컴퓨터학과 방문교수
- 2005년 1월 ~ 2006년 1월 : Mississippi State University 컴퓨터사이언스공학과 교환교수

• 1980년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전기정보통신공학부 교수

<관심분야>

자동제어, 지능제어 및 응용