

論文2000-37SP-5-2

미세주사효과를 이용한 배경기반 열영상 불균일 보정 기법

(Scene-based non-uniformity correction for thermal imaging system using microscanning effect)

宋仁燮*, 羅聲雄**

(In-Seob Song and Sung-Woong Ra)

요 약

본 논문에서는 미세주사장치를 이용하는 이차원배열 적외선 검출기의 불균일 출력특성 보정을 위한 배경 신호 기반의 디지털방식 실시간 보정 기법을 제안한다. 기존의 배경기반 불균일 보정 알고리즘은 영상의 움직임 전제로 하기 때문에 정지영상에 적용하는 경우 영상이 흐려지면서 사라지는 현상이 나타난다. 제안된 기법에서는 미세주사 효과와 변형된 Scribner의 알고리즘을 이용하여 이러한 문제점을 해결하고 영상의 불균일을 실시간으로 보정하였다. 컴퓨터 모의실험과 하드웨어 시험을 통해 제안된 기법은 동영상뿐만 아니라 정지영상에서도 뛰어난 성능을 보임을 입증하였다.

Abstract

In this paper, a real-time implementation of scene-based non-uniformity correction by digital technique is proposed for microscan-mode staring infrared cameras. Most scene-based non-uniformity correction algorithms, without sensor motion, can not be applied to stationary scenes because of image blurring and fading. Using microscanning effect, coupled with a modified version of Scribner's algorithm, the proposed technique can correct the artifacts and non-uniformities in real time. Computer simulations and hardware experiments demonstrate substantial improvement of image qualities in stationary as well as moving scenes.

I. 서 론

초점면 배열 적외선 검출기(Infrared Focal Plane Arrays : IRFPAs)는 높은 검출도와 빠른 화면율을 장점으로 하지만, 검출소자간의 불균일한 응답특성은 재

현 영상에 고정패턴잡음(fixed pattern noise)을 야기하는 단점이 있다.

만일 개개의 검출소자가 완벽하게 선형적이며 시변 특성을 갖는다면 단 한번의 불균일 보정으로 이러한 문제점은 해결될 수 있다. 그러나, 검출소자의 비선형성, 시스템의 불안정성, $1/f$ 잡음 등의 변화는 보정 후 잔류잡음(residual noise)을 유발하므로 불균일을 적시에 보정하기 위해서는 연속적인 보정 방법이 필요하게 된다. 일반적인 방법으로 열상장비 내부에 기준온도를 설치하고 입력 영상의 온도 분포에 따라 기준온도를 적응적으로 제어하면서 보정하는 방식이 있는데, 이 방식은 성능은 뛰어나지만 시스템이 크고 복잡하게 되는 단점이 있다.

* 正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defense Development)

** 正會員, 忠南大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University)

接受日字 : 1999年7月16日, 수정완료일 : 2000年3月6日

이러한 단점을 개선하기 위해 배경신호로부터 불균일 보정계수를 산출하는 새로운 개념의 배경기반 불균일 보정(scene-based nonuniformity correction) 기법이 연구되고 있으며, 기존의 대표적인 기법으로 Narendra가 제안한 일정통계기반(constant-statistics-based) 알고리즘^[1-3]과 Scribner가 제안한 신경회로망기반(neural-network-based) 알고리즘^[4]이 있다. Narendra의 알고리즘은 영상신호의 통계특성이 일정하다는 전제하에 불균일을 보정하므로, 배경에 비해 대조비 차이가 매우 큰 움직이는 표적이 있는 영상에서는 줄무늬와 잔상(ghost)이 나타나기도 한다. Scribner의 알고리즘은 Widrow의 급경사법(steepest descent method)^[5]을 이용하여 검출기의 이득 및 옵셋 보정계수를 계속 갱신하면서 보정하므로 동영상에서는 시간잡음(temporal noise) 수준으로 불균일이 보정된다. 그러나, 두 방법 모두 배경영상의 움직임을 기본 가정으로 하기 때문에 정지영상에 적용할 경우 영상이 흐려지면서 사라지는 문제점이 있다. 따라서, 배경기반 불균일 보정 알고리즘을 정지영상에 적용하기 위해서는 검출기에 인위적인 움직임을 가해 정지영상에서도 마치 동영상과 같은 효과를 생성해야 하는데, 이러한 목적으로 사용할 수 있는 장치가 바로 미세주사장치(microscanner)이다.

미세주사장치는 원래 한정된 적은 개수의 검출소자를 사용하는데 따른 분해능의 제약을 개선하기 위해 고안된 것으로, 검출소자의 크기보다 작게 수 μm 씩 검출기를 상·하·좌·우로 미세하게 움직여 오버 샘플링 함으로써 공간분해능을 향상시키는 장치이다. 실제 시스템 구현시에는 검출기를 움직여 주기는 사실상 불가능하므로 광로(optical path)를 틀어 검출기에 맺히는 영상을 움직여 주는 방식이 이용된다.^[6] 실험에 사용된 미세주사장치도 이 방법으로 구현되었다.

본 논문에서는 미세주사에 의한 오버 샘플링 효과를 이용하여 기존의 배경기반 불균일 보정 알고리즘의 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 정지영상에서의 번짐 현상을 근본적으로 해결할 수 있는 방법을 제안한다. 아울러, 불균일 보정회로의 안정성과 하드웨어 구현의 용이성을 위해 Scribner의 알고리즘을 변형하고, 인위적으로 생성한 미세주사영상을 이용하여 컴퓨터 모의 실험을 수행한다. 또한, 모의실험 결과를 기반으로 미세주사방식 이차원배열 열상장비에 적용 가능한 디지털 방식의 실시간 불균일 보정 하드웨어 구조를 제안하고, 열영상 획득시험을 통해 제안한 기법의 타당성과 성능

을 제시한다.

II. 본 론

1. 알고리즘 변형

Scribner의 배경기반 불균일 보정 알고리즘은 배경영상의 움직임을 기본 전제로 검출기의 불균일을 그림 1의 구조에서 식 (1)에 따라 보정한다.

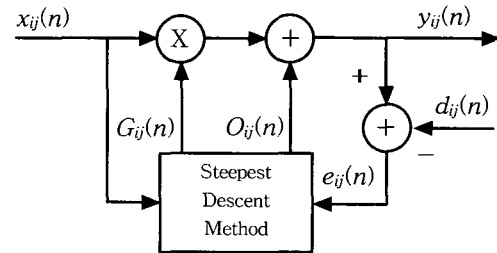


그림 1. Scribner 알고리즘의 구조

Fig. 1. Structure of Scribner's algorithm.

$$y_{ij}(n) = G_{ij}(n)x_{ij}(n) + O_{ij}(n) \quad (1)$$

$$e_{ij}(n) = y_{ij}(n) - d_{ij}(n) \quad (2)$$

여기서, $y_{ij}(n)$ 는 ij 번째 검출소자의 보정된 픽셀, $x_{ij}(n)$ 는 불균일 픽셀, n 은 프레임 수, $G_{ij}(n)$ 와 $O_{ij}(n)$ 는 각각 이득 및 옵셋 보정계수이다.

위 식에 Widrow의 급경사법을 적용하여 보정 오차를 최소화하는 $G_{ij}(n)$ 와 $O_{ij}(n)$ 의 반복적인 해를 구하면 식 (3)~식 (4)과 같이 표현된다.

$$G_{ij}(n+1) = G_{ij}(n) - ae_{ij}(n)x_{ij}(n) \quad (3)$$

$$O_{ij}(n+1) = O_{ij}(n) - ae_{ij}(n) \quad (4)$$

여기서, a 는 학습계수(learning coefficient)이고, $d_{ij}(n)$ 는 ij 번째 검출소자의 불균일을 보정하기 위한 목표값으로서 이웃 픽셀들의 평균값을 이용한다. 따라서, 개개 픽셀들의 이득과 옵셋 보정계수를 위 식에 따라 연속적으로 갱신하면 검출소자의 불균일이 점진적으로 보정됨을 알 수 있다.

한편, Scribner의 알고리즘에서 보정오차를 가장 빠른 시간에 최소화하는 조건은 학습계수에 의해 결정된

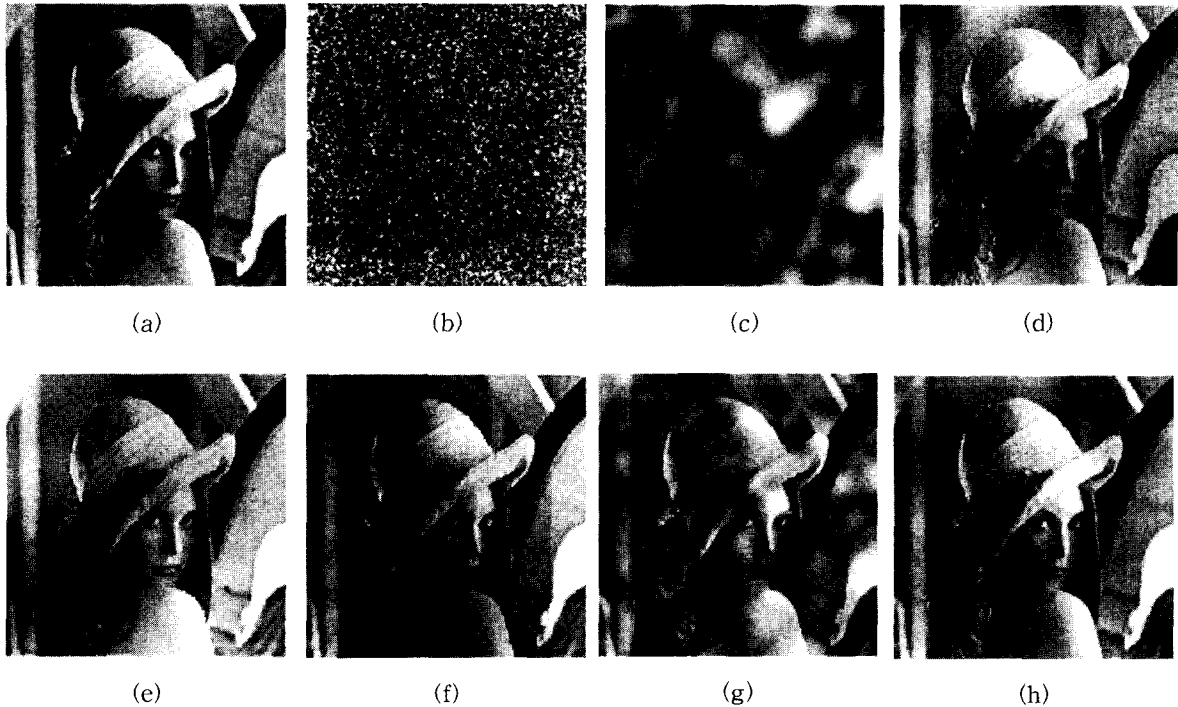


그림 2. 1024 스텝 후 보정 영상 (a) 원 영상 (b) 불균일 영상 (c) 비주사/정지 (d) 2×2 미세주사/정지 (e) 3×3 미세주사/정지 (f) 4×4 미세주사/정지 (g) 비주사/이동(1pps) (h) 2×2 미세주사/이동(1pps)
 Fig. 2. Results of corrected images after 1024 steps (a) Original image (b) Nonuniform image (c) Nonscan/Stationary (d) 2×2 monscan/Stationary (e) 3×3 monscan/Stationary (f) 4×4 monscan/Stationary (g) Nonscan/Moving(1pps) (h) 2×2 monscan/Moving(1pps)

다. 그런데, 식 (3)과 식 (4)의 보정 계수 갱신 식을 보면 이득 보정계수는 입력과 오차의 곱으로 표현된 이차식이며 옵셋 보정계수는 일차식이므로, 동일한 학습 계수를 적용하면 한쪽으로 편중되어 최적해를 구할 수 없을 뿐만 아니라 입력에 따라 출력이 발산하는 경우도 있다. 또한, Scribner 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션에는 적합하지만, 실제 하드웨어로 구현시에는 제한된 픽셀 시간내에 보정연산과 보정계수 갱신을 동시에 실시간으로 처리하기 어려운 구조이다. 물론, 병렬처리 구조를 도입하면 실시간 처리도 가능할 수 있지만 이 경우 시스템의 동기 유지가 어려워지고 신호처리가 복잡해지는 단점이 있다.

본 논문에서는 보정회로의 안정성을 위해 정규화(normalization) 개념을 도입하여 픽셀 값들을 A/D 변환기의 최대 동적범위(dynamic range)를 기준으로 정규화 한다. 아울러, 시스템 동기 및 신호처리의 단순화를 위해 이득 보정계수 갱신에 필요한 $x_{ij}(n)$ 를

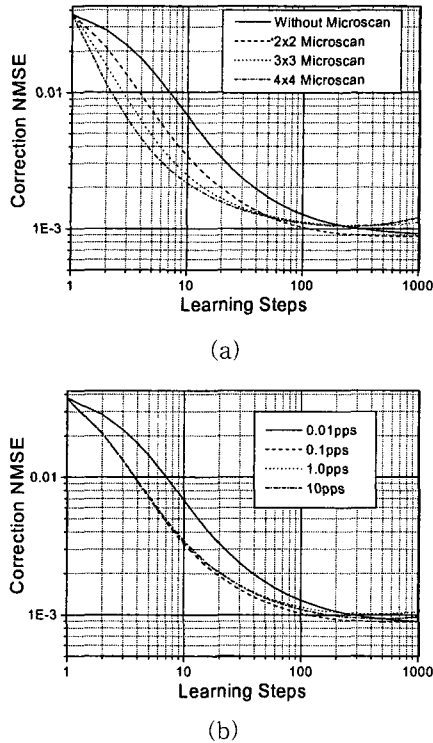
$y_{ij}(n)$ 로부터 역산하는 방식을 이용하여, 위의 보정식들을 다음과 같이 변형한다.^[7]

$$\frac{y_{ij}(n)}{M} = P_{ij}(n) \frac{x_{ij}(n)}{M} + Q_{ij}(n) \quad (5)$$

$$P_{ij}(n+1) = P_{ij}(n) - a \frac{e_{ij}(n)}{M} \frac{x_{ij}(n)}{M} \quad (6)$$

$$Q_{ij}(n+1) = Q_{ij}(n) - a \frac{e_{ij}(n)}{M} \quad (7)$$

여기서, M 은 정규화 상수, $P_{ij}(n)$ 와 $Q_{ij}(n)$ 는 각각 정규화 된 픽셀에 대한 이득 및 옵셋 보정계수이다. 따라서, $P_{ij}(n) = G_{ij}(n)$, $MQ_{ij}(n) = O_{ij}(n)$ 으로 놓고 위 식들을 정리하면 결국 이득 보정식만 다음과 같이 변형된다.



$$\text{Correction NMSE} = E[(y - (r + 1920))^2] / M^2$$

그림 3. 보정회로의 스텝오차 특성

(a) 정지영상 (b) 이동영상

Fig. 3. Error behavior of the correction network.

(a) Stationary image (b) Moving image

$$G_{ij}(n+1) = G_{ij}(n) - a \frac{e_{ij}(n)}{M} \times \left(\frac{y_{ij}(n) - O_{ij}(n)}{MG_{ij}(n)} \right) \quad (8)$$

변형된 알고리즘에서 $e_{ij}(n)$ 는 $y_{ij}(n)$ 과 $y_{ij}(n)$ 에 "+" 형상으로 이웃하는 4개 픽셀의 평균값과의 차이를 이용한다.

2. 모의실험

모의실험은 256×256 크기, 8비트 레벨의 Lena 영상을 이용하였다. 통상 IRFPAs에 의해 검출되는 열영상 신호는 일반 CCD 카메라의 주간 영상 신호와는 달리 높은 배경신호에 낮은 대조비 신호가 중첩되어 나타난다. 이러한 열영상의 특성을 고려하여 모의실험에 사용되는 불균일 영상은 이득 및 오프셋 불균일 계수를 무작위로 발생시켜 식 (9)에 따라 12비트로 변환하였다.

$$x_{ij} = a_{[i/N, j/M]}(r_{ij} + 1920) + 4095b_{[i/N, j/M]} \quad (9)$$

여기서, x_{ij} 는 12비트 레벨의 불균일 영상, r_{ij} 는 8비트 레벨의 원 영상, N 은 미세주사 스텝수, $[\cdot]$ 은 \cdot 을 넘지 않는 최대 정수, a_{ij} 와 b_{ij} 는 각각 0.7~1.3 및 ± 0.3 범위에서 균일한 분포를 갖는 이득 및 오프셋 불균일 계수이다.

변형된 Scribner 알고리즘에 인위적으로 생성한 1×1(비주사), 2×2, 3×3, 및 4×4 주사방식의 불균일 영상을 적용하여 미세주사 효과를 확인하였다. 그림 2에 1024 스텝 후 보정된 정지영상 및 동영상상을 보인다. 재현된 영상은 히스토그램 평활화 기법을 이용하여 12비트 레벨을 8비트 레벨로 변환시킨 것이며, 동영상상은 정지영상을 수평방향으로 매 스텝마다 0.01~10 pps(pixel per step)씩 이동시키는 방법으로 실험하였다. 실험결과 보정전의 입력영상은 전혀 보이지 않으며, 미세주사된 영상들은 모두 원영상에 가깝게 보정됨을 확인할 수 있다. 그러나, 비주사 영상은 번짐으로 인해 영상을 전혀 식별할 수 없는 상태를 보이고 있다. 그림 3은 학습 계수 0.1에서 매 스텝의 오차특성을 나타낸 것으로, 200 스텝 이후부터 보정오차가 수렴하여 이득 및 오프셋 보정계수가 안정됨을 보여준다. 모의실험을 통해 2×2 미세주사 정도면 정지영상 및 동영상상의 불균일 보정에 충분함을 확인하였다.

III. 하드웨어 구현 및 성능 시험

1. 하드웨어 구현

중적외선 영역의 320×240 배열 IRFPAs를 이용하는 열상장비에 적용하기 위한 디지털 방식의 불균일 보정 하드웨어를 변형된 Scribner 알고리즘과 미세주사 효과를 기반으로 설계하였다.

미세주사장치는 검출기의 신호 적분시간과 재현영상의 분해능(640×480)을 고려하여 2×2 방식으로 제작하였으며, 신호처리 하드웨어는 FPGA, RAM 및 시스템의 주 프로세서로 TMS320C80 DSP를 이용하여 구성하였다. 그림 4에 설계된 하드웨어의 블록도를 보인다. 블록도에서 미세주사된 IRFPAs의 출력신호는 고속 12비트 A/D 변환기를 거쳐 파이프라인 구조의 FPGA에 의해 입력 픽셀과 보정계수와의 곱셈 및 덧셈이 실시간으로 이루어진 다음, 이중버퍼 구조의 한쪽 RAM에 저장된다. 동시에 DSP는 다른 한쪽 RAM에 저장된 영상 데이터를 읽어 프레임 RAM에 저장하고, 저장된 데

이터를 이용하여 변형된 Scribner의 알고리즘을 수행하며, 계산한 보정계수를 1초에 한번씩 이득/오프셋 RAM에 갱신 저장한다.

보정된 열영상은 히스토그램 평활화, 전자줌 등의 후처리를 거쳐 출력버퍼 RAM에 전달되며, 이러한 모든 신호처리는 필드 단위로 1/60초 이내에 처리된다.

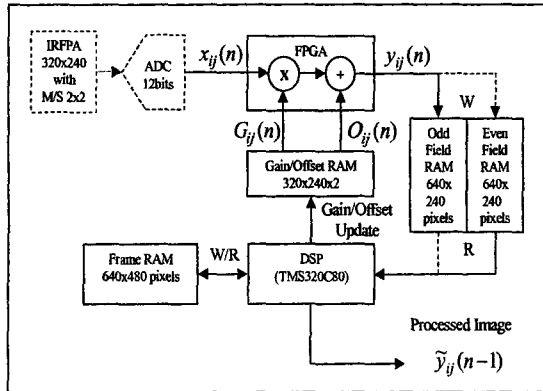


그림 4. 하드웨어 블록도
Fig. 4. Block diagram of designed hardware.

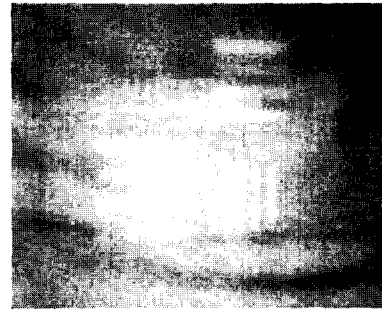
2. 성능 시험

제안한 기법의 성능을 확인하기 위해 제작된 디지털 보정회로를 미세주사방식 이차원배열 열상장비에 적용하여 열영상 획득시험을 하였다. 시험 표적은 온도차 5℃인 열 막대표적 (thermal bar target)이며, 이때 보정회로의 학습계수는 0.25이다. 그림 5에 보인 영상에서 불균일 영상은 검출소자간의 특성차이, 손상픽셀(dead pixel) 등 불균일한 요인으로 인해 막대표적의 식별이 어려우며, 비주사 보정영상은 영상의 번짐 현상을 보이고 있다. 반면, 2x2 미세주사 보정영상은 소자의 불균일과 손상 픽셀이 보정되어 선명한 영상을 보여준다. 그림 5의 (b), (c)에 보인 보정영상은 100 보정스텝(100초)에서 획득한 것이다.

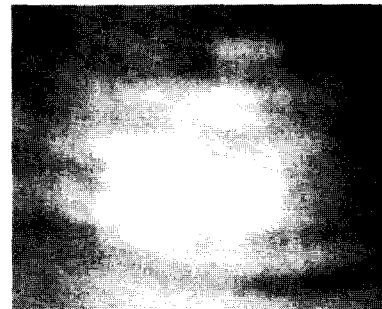
IV. 결 론

본 논문에서는 미세주사 효과와 변형된 Scribner 알고리즘을 기반으로 정지영상에도 적용 가능한 배경기반 열영상 불균일 보정기법을 제안하였다. 미세주사효과를 알아보기 위해 4가지 방식(비주사, 2x2, 3x3 및 4x4)의 미세주사 영상에 대한 컴퓨터 모의실험을 수행하였으며, 실험을 통해 2x2 미세주사 정도면 정지영상

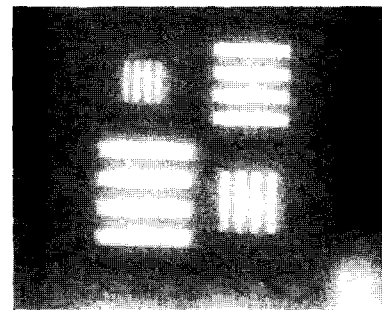
및 동영상의 불균일 보정에 충분함을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 열 막대표적 영상
(a) 불균일 영상
(b) 비주사 보정영상
(c) 2x2 미세주사 보정영상

Fig. 5. Thermal bar target image.
(a) Nonuniform image
(b) Corrected image without microscan
(c) Corrected image with 2x2 microscan

TMS320C80 DSP를 이용하여 1초에 한번씩 보정계수를 갱신하고, 파이프라인 구조의 FPGA에서 불균일 보정 연산을 실시간으로 처리하는 구조의 하드웨어를 설계·제작하였다.

제작된 하드웨어를 미세주사방식 이차원배열 열상장

비에 적용하여 열 막대표적에 대한 영상 획득시험을 수행하였으며, 성능시험을 통해 제안한 기법의 우수성과 실용성을 확인하였다.

향후 연구과제는 DSP의 업무할당 최적화를 통한 보정계수의 갱신을 향상기법과 장면 전환시 나타나는 이 전영상의 잔상을 제거하는 연구이다.

참 고 문 헌

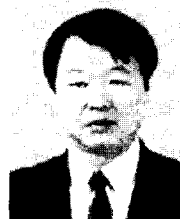
- [1]* P. M. Narendra, "Reference-free nonuniformity compensation for IR imaging arrays," *SPIE* Vol. 252, pp. 10-17, 1980.
- [2] P. M. Narendra and N. A. Foss, "Shutterless fixed pattern noise correction for infrared imaging arrays," *SPIE* Vol. 282, pp. 44-51, 1981.
- [3] J. G. Harris and Y. Chiang, "Nonuniformity correction using the constant-statistics constraint: Analog and digital implementations," *SPIE* Vol. 3061, pp. 895-905, 1997.
- [4] D. A. Scribner, K. A. Sarkady, J. T. Caulfield, M. R. Kruer, G. Katz, and C. T. Gridley, "Nonuniformity correction for staring IR focal plane arrays using scene-based techniques," *SPIE* Vol. 1308, pp. 224-233, 1990.
- [5] B. Widrow and S. D. Sterns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1985.
- [6] R. J. Dann, S. R. Carpenter, C. Seamer, P. N. J. Dennis, D. J. Bradley, "Sampling effects in CdHgTe focal plane arrays-practical results," *SPIE* Vol. 685, Infrared Technology XII, 1986.
- [7] In-Seob Song, Sung-Woong Ra, "Digital implementation of scene-based non-uniformity correction for microscan-mode infrared cameras," *IEE Electronics Letters*, Vol. 35, No. 13, pp. 1068-1070, 24th June 1999.

저 자 소 개



宋仁燮(正會員)

1956년 7월 23일생, 1980년 서강 대학교 전자공학과 졸업, 1992년 충남대학교 대학원 전자공학과 석사, 2000년 충남대학교 대학원 전자공학과 박사, 1979년 12월~현재 국방과학연구소 책임연구원(열상장비 신호처리 설계 담당). 주 관심분야는 영상신호처리 및 열상 시스템 설계 등임.



羅聲雄(正會員)

1953년 12월 6일생, 1976년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사, 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사, 1980~현재 충남대학교 전자공학과 교수. 주 관심분야는 영상신호처리 및 디지털 통신 시스템 등임.