

휴대용 열 영상 관측 장비를 위한 전자적 영상 안정화

김 종 호^{*,1),2)}

¹⁾ 전북대학교 나노과학기술학과

²⁾ 이오시스템 기술 개발실

Electronic Image Stabilization for Portable Thermal Image Camera

Jong-ho Kim^{*,1),2)}

¹⁾ Department of Nano Science and Technology the Graduate School of Chonbuk National University, Korea

²⁾ R&D of Eosystem, Korea

(Received 9 November 2015 / Revised 19 February 2016 / Accepted 29 April 2016)

ABSTRACT

Electronic Image Stabilization(EIS) is widely used as a technique for correcting a shake of an image. The case requiring the EIS function has been increased in high magnification thermal image observation on portable military equipment. Projection Algorithm(PA) for EIS is easy to implement but its performance is sensitive to the projection area. Especially, projection profiles of thermal image have very modest change and are difficult to extract image shifts between frames. In this paper, we proposed algorithm to extract a feature image for the thermal image and compared Block Matching Algorithm(BMA) with PA using our proposed feature image. When using our proposed feature image, BMA was simply implemented using FPGA's internal small memory. And we were able to obtain 30 % PSNR improved results compared to PA.

Key Words : Electronic Image Stabilization(전자적 영상 안정화), Feature Image(특징 영상), Thermal Image(열 영상)

1. 서론

전자적 영상 안정화(Electronic Image Stabilization, EIS)는 영상의 떨림을 보정하는 기술로 널리 사용되고 있다. 특히 휴대용 고배율 군사용 관측 장비에서 EIS 기능을 요구하는 사례가 증가하고 있으며, 이에 따라 열 영상 관측에도 EIS 기능의 적용을 필요로 하는 추세

이다. EIS는 PA(Projection Algorithm)^[1,2] 기법을 사용하면 구현이 간단하나 투형 형태(Projection Profile)에 따른 성능의 차이가 크다. 이 기법을 보완하기 위해서 그레이 스케일 투형(Gray-scale Projection)을 이용한 기법^[3]이 있으나 근본적으로 PA 기법의 한계를 벗어날 수 없다. 본 논문에서는 PA 기법의 한계를 극복하기 위해서 열 영상의 특징 영상을 생성하고, 이 특징 영상을 기반으로 블록 정합 알고리즘(Block Matching Algorithm, BMA)을 적용함으로써 보다 정확한 영상의 움직임 벡터를 구하는 방법을 제안한다. 특히 특징 영

* Corresponding author, E-mail: jhkim@eosystem.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

상은 관측 기상환경에 민감한 열 영상의 특성을 고려하여 관측 환경에 둔감한 특성을 보이며, 이 특징 영상을 기반으로 영상 보정을 수행하는 방법을 제안하여 열 영상에 적합한 영상 안정화를 구현하였다.

본 논문의 2장에서는 열 영상의 특징 영상을 추출하는 방법을 제안하고, 3장에서는 PA 기법과 제안한 기법의 결과를 PSNR로 비교하였다. 비교 결과 제안한 기법이 PA기법에 비해 30 %의 향상된 결과를 보였으며, 제안한 특징 영상을 기반으로 FPGA를 이용하여 실제 구현한 결과를 보였다.

2. 열 영상 특징 영상 추출

영상의 주요 특징으로 에지를 들 수 있으며, 영상의 에지를 추출하는 알고리즘은 여러 가지가 있다. Fig. 1은 널리 알려진 에지 추출 알고리즘들을 적용한 열 영상 결과들을 보여준다.

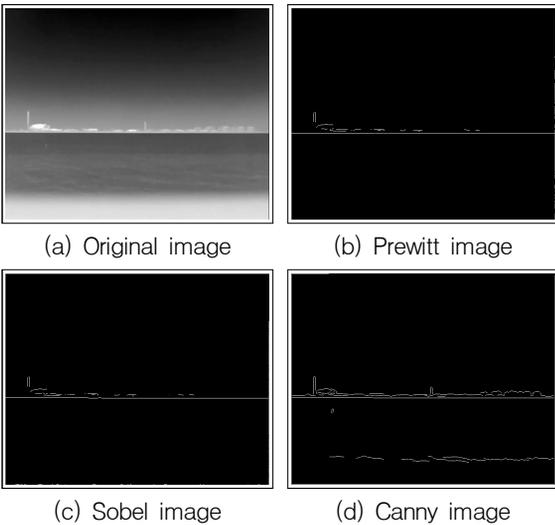


Fig. 1. Comparison of edge image

프리윗(Prewitt) 및 소벨(Sobel) 에지 추출 알고리즘은 수행 마스크 필터가 간단하여 연산 복잡성이 낮아 구현하기 쉬우나, Fig. 1에서 알 수 있듯이 에지 성분이 거의 없어 안정화를 위한 특징영상으로 사용하기 어렵다. 한편, 캐니(Canny) 에지 추출 방식은 프리윗(Prewitt)과 소벨(Sobel)보다 많은 에지 성분을 추출하지만 역시 안정화를 위한 특징영상으로 사용하기 어

렵다.

본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서 열 영상에 적합한 특징 영상 추출 방식을 다음과 같이 제안한다.

$$D(x, y)_m = \sum_{a=-lx}^{lx} \sum_{b=-ly}^{ly} I(x+a, y+b) \quad (1)$$

$$\text{where } m = \frac{(a+lx)}{M}$$

$$o(x, y)_m = \begin{cases} 2^m & ; D(x, y)_m - D(x, y)_{\frac{M-1}{2}} > \text{임계값} \\ 0 & ; D(x, y)_m - D(x, y)_{\frac{M-1}{2}} \leq \text{임계값} \end{cases} \quad (2)$$

$$O(x, y) = \sum_{m=0}^{m=M-1} o(x, y)_m \quad (3)$$

D[9] // 식 (1)의 $D(x, y)_m$ 으로써 M이 10인 경우
o // 식 (2)의 $o(x, y)_m$

for x = 0:(image's row size)-1

{

for y = 0:(image's col size)-1

{

for b = -4:4-1 // ly가 4인 경우

{

for a = -45:45-1 // lx가 45인 경우

{

D[(a+45)/10] += I(x+a, y+b) //M이 10인 경우

}

}

for m = 0:9

{

if(m != 4)

{

if(D[m] - D[4] > 45) o += 2^m

// Threshold가 45인 경우

}

}

O(x, y) = o

}

}

Fig. 2. Pseudo code of (1) ~ (3)

식 (1) ~ 식 (3)는 원본 영상의 픽셀 $I(x, y)$ 를 사용하여 제안한 특징 영상의 픽셀 $O(x, y)$ 을 계산하는 과정을 나타낸 것이다. l_x, l_y 는 특징 영상의 픽셀 $O(x, y)$ 를 구하기 위한 범위이다. l_x, l_y 값이 큰 경우 특징 영상의 크기가 줄어드는 문제가 발생하고, 작은 경우 특징 영상이 잘 만들어 지지 않는다. 본 논문에서는 이를 고려하여 $l_y = 45, l_x = 4$ 으로 실험을 수행한다. 식 (1)은 l_x, l_y 의 영역에 대해서 l_x 방향으로 M 개의 픽셀씩을 더한 값을 저장하는 과정이고, 식 (2)는 식 (1)의 결과에 대해 열의 합을 수행한 것이다.

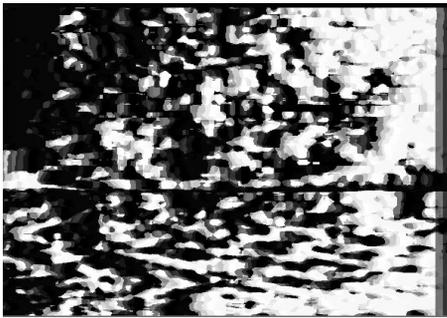


Fig. 3(a). Proposed feature image(임계값 = 4)

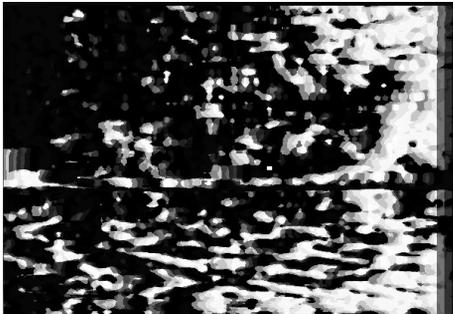


Fig. 3(b). Proposed feature image(임계값 = 45)

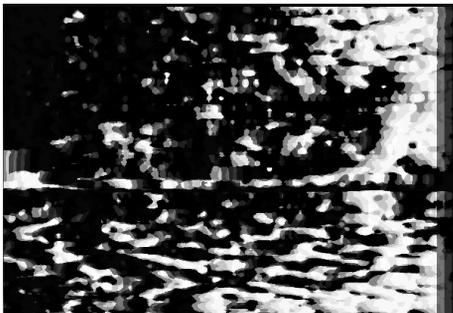


Fig. 3(c). Proposed feature image(임계값 = 50)

적정한 임계값을 지정하여 식 (3)을 계산한 후, 최종 출력 $O(x,y)$ 를 얻을 수 있다. 이러한 과정의 이해를 위해서 Fig. 2와 같은 의사 코드로 설명하였다. 의사 코드는 l_x, l_y, M 이 각각 45, 4, 10의 경우를 예로 든 것이다. 이 과정을 통해서 Fig. 3과 같은 결과를 얻을 수 있다. Fig. 3의 영상은 식 (2)의 임계값을 각각 4, 45, 50으로 설정한 결과이다. 각 임계값을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 45 또는 50의 임계값을 적용하여 생성한 특징 영상을 사용할 경우 안정화 성능이 우수하였다.

제안한 특징 영상 생성 알고리즘은 Sobel, Prewitt, Canny 에지 필터에 비해 많은 정보의 특징 영상을 얻을 수 있으나, 식 (1)과 식 (2)에 의해 각 픽셀당 $((2 \times l_x) \times 2 \times l_y) + M$ 연산을 수행해야 하므로 연산량이 많아 실시간 처리에 부적합하다. 본 논문에서는 FPGA를 이용하여 제안한 알고리즘의 고속화를 구현하여 실시간 처리가 가능하도록 한다.

또한 Fig. 3의 특징 영상을 이용하여 BMA를 수행하면, 기준 영상으로 사용할 수 있는 영역을 줄일 수 있어 내부 메모리 사이즈가 작은 FPGA에서 구현하기 쉬운 장점이 있다. 이에 대해서는 3장에서 자세히 언급하겠다.

3. 제안한 특징 영상을 이용한 영상 안정화 구현

휴대용 관측경의 기본적인 야간시계가 5.6×4.2(수평×수직)도 이므로, 사람의 최대 손 떨림 각도가 ±0.5도라고 할 때 640×480의 열 영상을 기준으로 최대 120픽셀(손 떨림 최대 각도가 관측경 수직시계의 1/4)이 흔들릴 수 있다. 이는 거리 2 km 전차를 관측 시 목표물이 15 Mil(Mil은 주로 군사관련으로 사용되는 각도 또는 평면각의 단위이며, 대상물체의 실제 폭 또는 높이(m)를 대상물체까지의 거리(km)로 나눈 값임.) 이상 흔들릴 수 있다. 이런 문제를 극복하기 위해서 실시간 영상 안정화가 필요하며, 사람이 휴대하여 관측하는 장비의 영상 떨림은 탑재 장비의 떨림에 비해서 수평, 수직의 떨림만 보정하여도 그 효과가 크게 나타난다. 그러므로 본 논문에서 제안한 특징 영상을 적용할 경우, 기준 영상의 7×640(수직×수평) 영역의 영상을 수평 방향으로 2픽셀씩 건너 뛰어 7×320의 템플릿 영상으로 만든 후 FPGA 내부 메모리에 저장하여 처리한다. 이후 입력 영상에 대해 SAD(Sum of Absolute Differences)

를 이용한 BMA를 수행하여 기준 영상으로부터 움직임 벡터를 얻어 이와 반대 방향으로 보정하는 영상 보정 시스템을 구현하였다. 구현에 앞서, 안정화를 적용하려는 장비로부터 실제 열 영상을 획득하여 Visual C++을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Simulation environment

구분	모델
CPU	Intel(R) Core(TM) i5 CPU 760 2.8 GHz
GPU	NVIDIA GeForce GTX 460
MEMORY	8 GB
OS	Windows7 Professional 64 Bit

Fig. 4(a)는 실제 관측경에서 획득된 열 영상으로 그림에서 알 수 있듯이 에지 정보가 거의 없는 영상을 이용하여 Fig. 4(b)와 같은 특징 영상을 얻었으며, 이 특징 영상의 가운데 영역 7×320을 기준 템플릿으로 사용하였다.

Fig. 4(c)는 Fig. 4(a)를 이동한 영상이고, Fig. 4(d)는 Fig. 4(c)의 특징 영상이다. 두 영상의 SAD를 통한 BMA 결과를 나타낸 Fig. 4(d)의 템플릿 영역이 Fig. 4(b)의 기준 템플릿과 일치함을 알 수 있다.

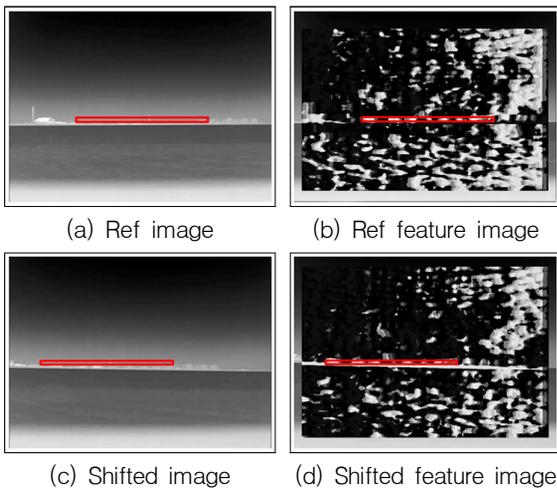


Fig. 4. Shifted feature image

또한, 기존 PA 기법과 제안한 특징 영상을 이용한 BMA 기법의 성능 비교를 위해 실제 촬영된 640×480

크기의 열 영상에서 첫 번째 프레임의 중앙 320×240 영역을 기준 영역으로 설정하고, 이후 각 프레임의 동일 영역과 기준영역 간의 PSNR(Peak Signal-to-Noise-Ratio)을 통해 두 기법의 성능을 측정하였다. PSNR은 신호가 가질 수 있는 최대 전력에 대한 잡음의 전력을 나타낸 것으로^[4] BMA 기반 알고리즘의 정량적 성능평가에 널리 사용된다^[1].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_i^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

$$MSE = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - R(i, j)| \quad (5)$$

영상에서 한 픽셀이 가질 수 있는 최대값은 255 이므로 식 (4)의 MAX는 255가 된다. 식 (5)에서 R(i, j)은 기준 영상, I(i, j)는 각 프레임의 영상, m, n은 PSNR을 계산할 구역의 가로, 세로 크기를 의미한다. 영상의 안정화가 잘 수행되었다면 식 (5)의 MSE 값이 작아지고 그 결과 PSNR값이 커지게 된다. Table 2는 640×480 열 영상 500 프레임에 대한 PA 기법과 제안기법의 PSNR 평균을 나타낸 것이며, 제안기법의 성능이 약 30 % 우수하게 측정되었다.

Table 2. PSNR Values for proposed method

구분	PSNR (dB)
PA 기법	20.4345
제안 기법	22.2842

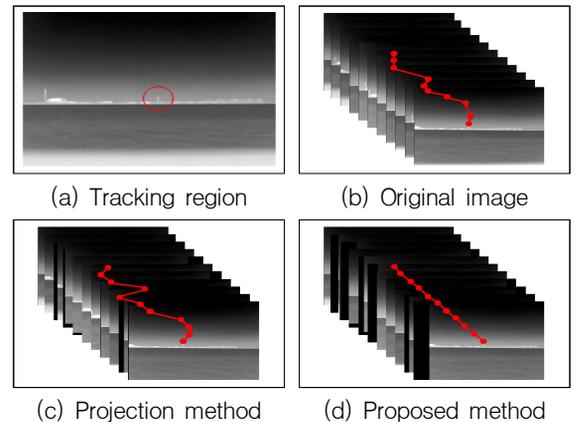


Fig. 5. Comparison of result image

Fig. 5는 PA 기법과 제안된 기법의 비교를 위해 Fig. 4(a) 물체를 각 프레임 별로 추적한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. PA 기법 결과를 나타낸 Fig. 5(c)는 BMA를 위한 움직임 벡터 산출이 되지 않아 영상 안정화가 되지 않았다. 제안된 기법으로 수행된 Fig. 5(d)는 각 프레임 별로 추적 물체가 동일한 위치에 나타나 안정화가 잘 이루어졌다.

시뮬레이션 결과를 토대로 제안한 특징 영상의 적용 가능성을 확인한 후 Fig. 6과 같이 FPGA를 이용하여 안정화 시스템을 구현하였다. Fig. 6에 대해 간략히 설명하면, 우선 안정화 시작 시점에서 “Feature Image Conversion Block”으로부터 출력되는 영상의 중앙에 위치한 21×640 영역을 선택하여 7×320의 템플릿으로 변환하는 작업을 “Reference Image Save Block”에서 수행한다. 기준 영상을 획득하면 이후 입력되는 영상에 대해서 템플릿과 유사한 영상의 형태로 영상을 메모리에 저장한 후 기준 영상이 있는 메모리의 내용과 SAD를 수행하여 한 프레임에서 SAD 값이 가장 적은 영상의 위치를 구한다. 이와 동시에 입력 영상은 FPGA 외부 메모리에 저장하고, 다음 프레임에서 기준 영상대비 이동된 양만큼 역으로 적용되도록 저장된 영상을 읽어 영상 보정을 수행하였다.

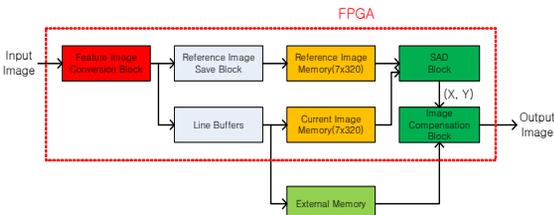


Fig. 6. Electronic image stabilization system using FPGA

Fig. 6과 같이 Xilinx社의 FPGA Spartan6 계열인 xc6slx45csg484-2로 시스템을 구성하여 합성 및 최종 P&R(Place&Route)을 수행하였으며, 합성결과 FPGA의 예상 사용률은 Table 3과 같다. LUT(Look Up Table) 및 FF(Flip-Flop)의 사용률이 높은 이유는 7×320의 기준 템플릿 영상을 입력 영상의 전 영역을 걸쳐 매 프레임마다 SAD를 수행하기 위해서 각 요소 마다 연산기를 구현한 관계로 사용률이 비교적 높음을 알 수 있다. 그러나 xc6slx45csg484-2는 Spartan6 계열에서 작은 게이트수를 갖는 소자로 범용 DSP에 비해 저가의 소자이다.

Table 3. Estimated FPGA resource utilization

xc6slx45csg484 Resource Name	Used / Total
RAM_18K	95 / 116
FF ¹⁾	14130 / 54576
LUT ²⁾	21094 / 27288
DSP48 ³⁾	0 / 58

- 1) Flip-Flop의 약어로 FPGA의 기본 단위의 기억 소자임
- 2) Look Up Table의 약어로 FPGA에서 조합 논리를 구현하는데 사용됨
- 3) 고속 디지털 신호처리가 가능하도록 FPGA내부에 포함된 블록임.

Table 4는 합성 후 예상 FPGA 타이밍 성능을 나타낸 것이다. 목표 동작 주파수의 주기(clock rate)를 10 ns로 설정하고 동작 주파수 주기에 1.25 ns의 클럭 불확실성을 고려하였을 때 합성 결과는 8.65 ns까지 동작 가능함을 알 수 있고 640×480의 영상을 처리하는데 약 10 ms(1005879×10 ns)의 처리시간이 소요된다.

Table 4. Estimated FPGA timing

Target	Estimated	Uncertainty	Latency
10 ns	8.65 ns	1.25 ns	1005879 cycle

Fig. 6의 안정화 모듈을 이오시스템에서 개발한 다기능 관측 장비에 적용한 결과를 Fig. 7에서 보여준다. Fig. 7(a)는 안정화 기능을 실행하는 참조 영상이고 Fig. 7(b)는 손 떨림으로 인해 이동된 영상이며, 이 영상에 안정화 보정을 적용한 결과가 Fig. 7(c)이다. Fig. 7(c)에서 보이듯 안정화 기능을 통해 십자 망선의 영상 위치가 기준 영상과 동일한 광축을 유지함으로써 영상이 안정적으로 보정됨을 알 수 있다.



Fig. 7(a). Reference image



Fig. 7(b). Shifted image

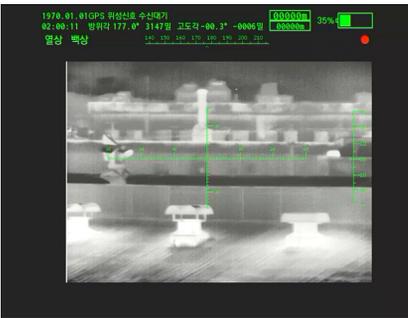


Fig. 7(c). Corrected image

4. 결론

본 논문에서는 고배율 다기능 관측경으로 열 영상 관측 시 떨림을 보정하기 위해 기존 PA 기법의 한계를 극복하고 열 영상에 적합한 특징 영상 변환을 연구하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 기법의 PSNR이 PA 기법에 비해 약 30 % 우수한 성능을 가지는 것을 확인했다. 또한 제안한 특징 영상 변환 알고리즘을 수행하는 영상 안정화 시스템을 FPGA를 이용하여 개발한 후 동작을 확인 하였다.

본 논문에서는 휴대용 관측 장비의 영상 안정화를

위해 수직, 수평 방향의 안정화만 고려하였으나, 관측 경의 의도된 움직임과 떨림을 분리하여 안정화하는 연구가 계속 진행될 필요가 있으며, 현재 연구 중이다.

References

- [1] Sheen Lew, Wan-Joo Lee, Hyunchul Kang, "A Study on an Image Stabilization for Car Vision System," Korea Institute of Information And Communication Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 957-964, 2011.
- [2] Weiping Yang, Zhilong Zhang, Yan Zhang, "A Real-Time Gray Projection Algorithm for Electronic Image Stabilization," SPIE 8193, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011: Advances in Infrared Imaging and Applications, 81932G(8 September 2011); doi: 10.1117/12.900350.
- [3] Yin Bin, Duan Hui-chuan, "Image Stabilization by Combining Gray-Scale Projection and Block Matching Algorithm," IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education, Vol. 1, pp. 1262-1266, 2009.
- [4] Y. A. Al-Najjar, "Comparison of Image Quality Assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI," International Journal of Scientific & Engineering Reserch, Vol. 3, No. 8, pp. 2229-5518, 2012
- [5] A Aysun Yeni, Sarp Ertfurk. "Fast Digital Image Stabilization using One Bit Transform Based Sub-Image Motion Estimation," IEEE Transactions on Consumer Electronics, 51(3), pp. 917-921, 2005.
- [6] Sung-Jea Ko, Sung-Hee Lee, Seung-Won Jeon et al., "Fast Digital Image Stabilizer based on Gray-Coded Bit-Plane Matching," IEEE Transactions on Consumer Electronics, 45(3), pp. 598-603, 1999.