

디테일 향상 기법을 적용한 자동차용 열상카메라 개발

조덕상¹, 양인범^{2*}

¹주식회사 콕스, ²순천향대학교 스마트자동차학과

Thermal Imaging Camera Development for Automobiles using Detail Enhancement Technique

Deog-Sang Cho¹, In-Beom Yang^{2*}

¹R&D Center, COX

²Department of Smart Automobile, Soonchunhyang University

요약 본 논문은 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assist System, ADAS) 및 자율주행자동차 등에 영상 정보를 제공하는 자동차용 열상카메라를 개발하고 그 영상의 디테일을 향상하기 위한 개선된 기법을 제안한다. 열상카메라는 온도 측정과 야간 영상 확보 등을 목적으로 의료, 산업, 군수 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 스마트자동차에서는 야간 영상 확보를 위하여 적용되고 있다. 첨단운전자지원시스템 및 자율주행자동차 등의 영상 센서로 활용되기 위해서는 객체인식이 가능한 수준의 영상 해상도 및 디테일이 요구된다. 본 논문에서는 자동차에 적용 가능한 640x480 해상도의 열상카메라를 개발하고 영상의 디테일을 향상하기 위한 BDE(Block-Range Detail Enhancement) 기법을 적용한다. 다양한 주행 환경에서 얻어지는 영상 디테일을 향상하기 위하여 대상 픽셀과 주변 8개의 픽셀 간의 Block-Range 값을 계산하여 5단계로 구분하고 각기 다른 Factor를 가감하도록 함으로써 활용도가 높은 영상을 얻을 수 있도록 한다. 개선된 기법은 130mK의 온도 차이까지 구분함으로써 영상의 어두운 부분도 상대적으로 세밀하게 구분하며, 영상의 밝은 부분과 어두운 부분 모두에서 고른 디테일 향상을 보여준다. 개발된 열상카메라와 디테일 향상 기법을 실차에 적용하고 시험하여 제안된 기법의 개선된 결과를 제시한다.

Abstract In this paper, the development of an automotive thermal imaging camera providing image information for ADAS (Advanced Driver Assist System) and autonomous vehicles is described and an improved technique to enhance the details of the image is proposed. Thermal imaging cameras are used in various fields, such as the medical, industrial and military fields, for the purpose of temperature measurement and night vision. In automobiles, they are utilized for night vision systems. For their utilization in ADAS and autonomous vehicles, appropriate image resolution and enhanced detail are required for object recognition. In this study, a 640x480 resolution thermal imaging camera that can be applied to automobiles is developed and the BDE (Block-Range Detail Enhancement) technique is applied to improve the details of the image. In order to improve the image detail obtained in various driving environments, the block-range values between the target pixel and the surrounding 8 pixels are calculated and classified into 5 levels. Then, different factors are added or subtracted to obtain images with high utilization. The improved technique distinguishes the dark part of the image by the resulting temperature difference of 130mK and shows an improvement in the fine detail in both the bright and dark parts of the image. The developed thermal imaging camera using the improved detail enhancement technique is applied to a test vehicle and the results are presented.

Keywords : ADAS, Block-Range, Detail Enhancement, Night Vision, Thermal Image Camera

본 연구는 중소기업청 구매조건부사업 지원으로 수행하였음.

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음. (과제번호 20171116)

*Corresponding Author : In-Beom Yang (Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1528 email: ibyang@sch.ac.kr

Received December 5, 2017

Revised January 22, 2018

Accepted March 9, 2018

Published March 31, 2018

1. 서론

열상카메라는 물체에서 방사하는 적외선을 검지하여 영상으로 변환하는 센서로써 국방, 보건의료, 산업현장, 연구, 보안 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 최근에는 센서의 성능 향상과 가격 인하 등 기술적 요인으로 인하여 다양한 분야로의 활용이 증가하고 있다. 자동차 분야에서도 야간 주행 시의 안전도 향상을 위하여 전방의 열영상을 제공하는 Night Vision System[1]이 지속적으로 상용화되고 있다.

첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assist System, ADAS)의 체계적인 상용화 및 자율주행자동차의 부분적인 상용화로 인하여 자동차용 열상카메라에 대한 새로운 기능이 요구되고 있으며, 기술적 발전과 현실적인 가격으로 인하여 개발 및 보급이 증가하고 있다. Fig. 1에서 보이는 것과 같이 ADAS 및 자율주행자동차에 적용되는 Intelligent Night Vision System[2]은 운전자에게 전방의 열영상을 실시간으로 제공하는 기능 외에도 영상 기반 기계학습 알고리즘을 적용하여 영상 속의 객체를 인식하여 적절한 정보를 제공한다. 열영상을 실시간으로 제공하는 일반적인 Night Vision System에서는 운전자가 전방의 동물 등을 직접 판단해야 했지만, Intelligent Night Vision System은 동물과 사람을 구분하여 정보를 제공하고 전방 차량, 도로 표지판, 기타 장애물들을 구분하여 운전자에게 필요한 정보를 전달한다.

따라서 첨단운전자지원시스템 및 자율주행자동차에 적용되는 열상카메라에는 자동차에서 요구되는 내구성과 신뢰성, 상용화 가능한 가격 범위에서 적절한 해상도 및 영상의 디테일을 향상할 수 있는 기법이 요구된다.



Fig. 1. Commercialized intelligent night vision system

2. 본론

2.1 자동차용 열상카메라 개발

Fig. 2는 일반적인 열상카메라의 구성을 보여준다. 자동차용 열상카메라도 구조적으로 이와 다르지 않지만, 다양한 주행 환경에 대응 가능한 내구성 확보 등 기계적 요구조건과 영상처리를 위한 기능적 요구조건을 모두 고려하여 개발되어야 한다. 자동차용 열상카메라는 가혹한 주행 환경과 다양한 사용 환경에 노출되기 때문에 광학 부품과 기구부품도 높은 내구 특성을 가져야 하기 때문이다. 또한 동시에 영상을 이용한 객체 인식을 위한 적절한 해상도와 디테일이 요구된다.

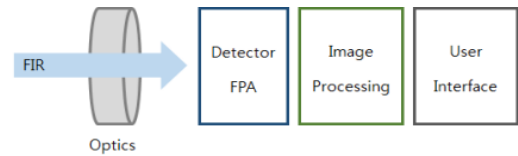


Fig. 2. Structure of the thermal image camera module

본 논문에서 개발된 자동차용 열상카메라는 라디에이터 그릴에 장착되는 Uncooled 타입의 Amorphous Silicon Microbolometer 방식의 센서를 사용하였다. 상용화 가능한 가격과 최소 사양을 고려하여 8-14um의 Spectral Band를 갖는 VGA급 640x480 해상도로 결정하였다. 센서 해상도와 요구되는 영상 특성을 고려하여 수평 19.4도, 수직 14.7도의 FOV를 갖는 렌즈시스템을 설계하고 제작하였다. 렌즈 전면부에는 실차에 장착되는 위치 특성을 반영하여 내충격 윈도우를 장착하였고 영상 출력 및 통신 방식은 자동차 규격을 따른다. Table 1은 개발된 자동차용 열상카메라의 최종 사양을 보여준다.

Table 1. Specification of thermal image camera

Item	Specification
Resolution	640x480
Imaging Speed	9Hz/25Hz
System NETD	Under 250mK
Detector NETD	Under 50mK
Lenz FOV H	19.4°
Lenz FOV V	14.7°
Window Coating	DLC+AR
Data Communication	I2C
Water Resistance	ES95400
Shock	ES95400
Vibration	ES95400
EMI/EMC	ES96200
SAND/DUST	Mil-Std810
Operation Temp.	-30°C ~ 85°C
Power	12V

내구 특성 확보를 위한 다양한 요구조건은 동작온도, 방수, 충격, 진동 특성 등이 있으며, 일반적으로 자동차에서 요구하는 수준을 만족하도록 설계하였다. 방수, 충격 및 진동 특성은 ES95400 규격을 만족한다. 내진은 Mil-Std810을 만족하도록 하우징을 포함한 기구부를 개발하였다. 또한 EMI/EMC 규격과 외부 충격 특성도 만족하도록 개발되었다.

Fig. 3은 최종 개발된 열상카메라 및 실차 성능시험을 보여준다. 실차시험을 통하여 다양한 주행 환경에서의 영상 데이터를 수집하고 이를 분석하여 영상의 문제점 및 개선 방향에 대한 기본 방향을 수립하였다. 어두운 영역의 디테일 향상을 포함하여 전체적인 후보정이 필요함을 알 수 있다.



Fig. 3. Developed camera and function test
(a) Camera module (b) In-vehicle function test

2.2 열영상 디테일 향상 필요성

제한된 화소를 갖는 Uncooled 타입 Amorphous Silicon Microbolometer 방식의 센서는 온도에 따른 편차뿐만 아니라, 센서를 구성하는 각각의 픽셀 간의 편차에 대해서도 보정이 필요하다. 픽셀 간의 편차에 따른 보정에 따라 화질에 미치는 영향이 크기 때문에, 필요한 수준의 영상 품질을 확보하기 위해서는 적절한 보정 기법을 적용해야 한다.

일반적인 기법은 두 점을 기준 하는 선형 보간법을 적용한다. 센서 내에 위치한 각 픽셀들의 특징을 두 점에서 측정하여 반응 민감도 기울기를 서로 균일하게 맞추고 픽셀 각각의 오프셋을 동일하게 맞추어 보정한다. 각 픽셀의 측정값에 보정 값을 곱하고 여기에 오프셋 및 보정 오프셋을 더하는 기법이 일반적으로 사용된다. 민감도가 높은 픽셀은 기울기를 평균값으로 맞추기 위해 낮은 기울기 보정 값을 곱하여 민감도를 낮추고 오프셋이 낮은 픽셀은 일정 값 이상을 더하여 보정한다. Fig. 4는 이러한 선형 보간법의 개념을 보여준다.

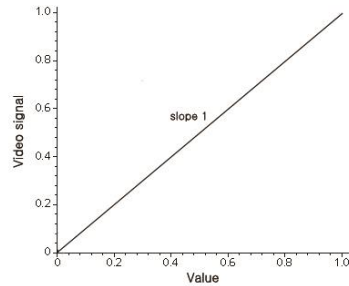


Fig. 4. Concept of linear correction

일반적인 선형 보정 기법은 영상의 계조 값을 일차함수로 단순화 할 수 있는 장점이 있지만, 전 영역에서 고른 디테일의 영상을 얻기에는 계조 값 크기가 맞지 않는 원천적인 한계점을 가지고 있다. 열상카메라에 일반적인 보정 기법을 적용하는 경우, 영상의 레벨 차이 분포가 적어서 어두운 영역의 물체 간 경계가 무너지는 현상이 나타난다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 영상의 에지를 강조하는 Detail Enhancement 기법이 다양하게 적용되고 있다[3]. 이 기법은 현재 픽셀과 주변의 특정 픽셀과의 관계로부터 오프셋을 만들어 내고, 이를 기준으로 오프셋을 가감하는 것이 핵심이다. 이러한 변화 값은 색상정보에서 휘도 값을 대상으로 하기 때문에 일반적인 유색 영상에서는 유용성이 감소되지만 색상 정보가 없는 순수 휘도 정보만을 갖는 영상에서는 원하는 효과를 낼 수 있기 때문에 많이 활용되고 있다.

이러한 다양한 Detail Enhancement 방식은 에지를 강조하지만 동시에 노이즈도 강조된다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이러한 현상을 없애기 위해서 에지의 유무를 판단하여 보정하는 개선된 기법들이 제안되었고 여러 분야에 적용되고 있으나 각각의 장단점을 내재하고 있다 [4-7].

2.3 디테일 향상 기법 적용

본 논문에서는 열영상의 디테일 향상을 위해서 기준 픽셀과 주변 8개 픽셀 간의 Block-Range를 계산하여 이를 반영하였다. Block-Range는 적절한 보정 Factor를 대입하기 위한 영역 구분을 의미한다. 이러한 Block-Range는 5단계로 구분하여 각기 다른 Factor를 가감하도록 하였다. Table 2는 Block-Range 범위에 따른 Gain 값을 보여준다.

Table 2. Block_Range value and corresponding gain value

Block-Range	Gain
0-15	0.0-0.11
16-31	0.11-0.2
32-63	0.2-0.65
64-127	0.65
128~	0.65-0

제한된 디테일 향상 기법은 어두운 영역은 더 세밀하게 표현하여 물체들 간의 구분이 가능하게 하고, 반대로 밝은 영역은 덜 세밀하게 표현하도록 고안되었다. 이를 통하여 영상의 에지가 강조되도록 하여 최적화된 영상을 얻을 수 있도록 하였다. 이러한 BDE(Block-Range Detail Enhancement) 기법은 각 픽셀별로 보정 작업이 수행되며, 전체 과정은 총 5단계로 진행된다. Fig. 5는 이러한 전 과정을 개념적으로 보여준다.

첫 단계는 각 픽셀별 감도 및 오프셋을 측정한다. 각 픽셀에서 얻어진 측정값은 픽셀별로 상하 20%씩 최대 40%의 각기 다른 값을 갖는다. 각 픽셀별 편차가 최대 40%에 이르는 감도 특성을 가지고 있으므로 각각의 기울기가 다른 형태로 나타난다. 기울기는 모두 Positive 방향이지만 그 값은 모두 다르다. 모든 픽셀의 감도를 측정한다.

다음 단계는 한계치 초과 부분 처리 및 평균값을 측정한다. 기준 범위를 벗어난 픽셀을 Dead Pixel로 처리하거나 일정 범위 이내로 감도를 재조정한다. 지나친 응답을 보이는 일부 픽셀은 제외하고 적정 범위 내의 응답을 보이는 픽셀만 유효 픽셀로 처리하고 이러한 픽셀들만을 모아서 센서 전체의 평균을 구한다.

세 번째 단계는 각 픽셀의 감도를 조정한다. 각 픽셀의 감도를 전체 평균에 일치하도록 기울기를 가감하여 같은 값을 갖도록 함으로써, 사용하고자 하는 온도 영역에 맞추어서 해당 영역 전체를 대응할 수 있는 감도로 변경시킨다. 자동차용 열상 카메라는 넓은 온도범위에서 사용되기 때문에 이 범위를 넓게 잡아야 한다. 결과적으로 각 픽셀별로 같은 감도를 갖게 한다.

네 번째 단계는 감도 조절 후 오프셋을 보정하기 위해 각 픽셀별로 오프셋을 측정한다. 이를 위해 가장 큰 빈도의 오프셋 값을 구하고 이를 기준으로 값을 가감한다. 여기까지의 NUC(Non-Uniformity Correction) 과정을 통해 균일도가 일정하지 않았던 픽셀들은 모두 균일하게 된다.

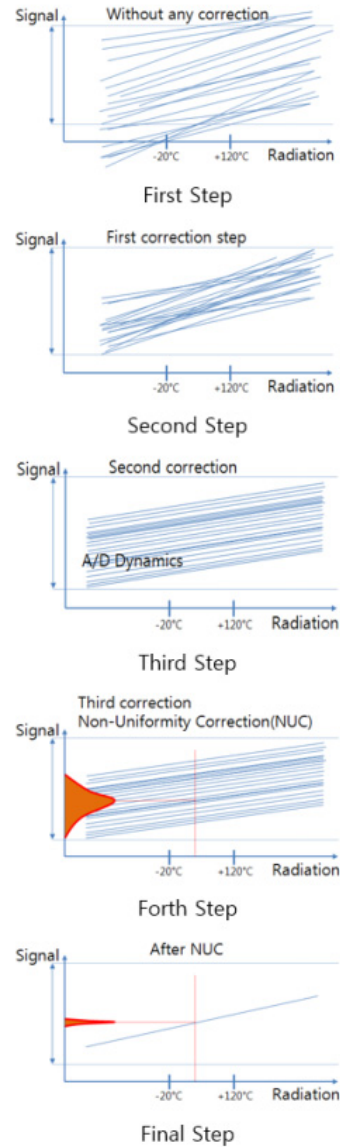


Fig. 5. Concept of BDE and processing step

마지막 단계는 NUC 이후 모든 픽셀들이 동일한 감도 및 오프셋 특성을 갖게 된다. 선형적인 응답 특성이 BDE 과정을 거치면서 Fig. 6에서 보이는 개념적인 비선형으로 특성으로 변환된다. 이러한 비선형 변환 특성으로 인하여 어두운 부분이 밝은 부분에 비해 상대적으로 에지가 강조되는 특성을 보인다.

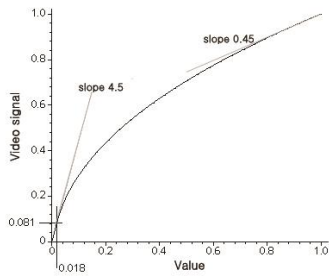


Fig. 6. Concept of nonlinear correction

2.4 실험 및 검증

개발된 카메라 모듈과 디테일 향상 기법을 적용하여 열상카메라 알고리즘 시험에 사용되는 200mK 표준 테스트 패턴을 이용하여 시험 및 검증을 수행하였다.

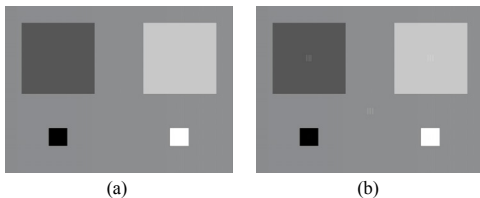


Fig. 7. Lab. test using standard test pattern
(a) Test pattern (b) Histogram stretching

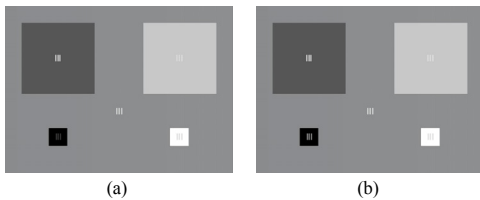


Fig. 8. Comparison of DDE and BDE
(a) After DDE (b) After BDE

Fig. 7은 200mK 온도차를 갖는 에지를 표준 테스트 패턴에 넣고 일반적인 영상 처리 방식인 Histogram Stretching 방식과 비교한 것이다. 부분적으로 에지를 구분하지만, 일부 영역에서는 에지가 명확히 구분되지 않음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 200mK 표준 테스트 패턴을 이용하여 상용화된 Digital Detail Enhancement(DDE)[3]기법을 적용한 결과와 BDE 기법을 적용한 결과의 차이를 보여준다. 두 방식 모두 어두운 영역과 밝은 영역에서 고르게 디테일 향상 효과가 있음을 알 수 있으나 BDE 기법이 상대적으로 어두운 영역에서 에지를 명확히 보여주고 있다. BDE 기법은 130mK의 온도 차이에서도 5개의 패턴을 모두 관찰 할 수 있었다. 기존의 DE 방식에 비해 130mK까지

인식을 확장할 수 있음을 의미한다.

실제 현실에 적용한 결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9는 선형 보정 후의 영상과 BDE 기법을 적용한 영상을 비교한 것이다. 선형 보정한 영상은 어두운 영역과 밝은 영역이 같은 Factor 값을 갖기 때문에, 어두운 영역에서의 물체 식별이 어렵다. 반면, BDE 기법을 적용한 영상은 어두운 영역에서의 물체가 상대적으로 명확히 구분됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 9. Field test result
(a) Linear correction (b) BDE



Fig. 10. Test result of night driving

Fig. 10은 실차 주행 시험을 통하여 확보한 다양한 영상을 보여준다. 보행자, 노면표시, 전방차량 및 다양한 도로 상의 물체들에 대한 영상을 명확히 얻을 수 있음을 알 수 있으며, ADAS에서 요구하는 수준의 영상 해상도와 디테일을 확인 할 수 있었다.

3. 결론

ADAS 및 자율주행자동차 등에서 활용하기 위한 원적외선 방식의 열상카메라를 개발하고 디테일 향상을 위한 개선된 기법을 적용하였다. 실차 시험을 통하여 개선된 효과를 검증하였으며, 요구 성능과 가격을 만족함으로써 상용화 가능성을 확인하였다.

- 1) 자동차에서 요구하는 방수, 충격, 진동 특성을 만족하도록 ES95400, ES96200 규격에 부합하는 열상카메라 모듈을 설계하고 개발하였다. 자동차 규격에서 특별한 시험방법을 지정하지 않은 항목들은 Mil-std810 군용 규격을 준용하여 시험하였다.
- 2) 640x480 해상도를 갖는 적외선 센서 출력 영상의 디테일을 향상하기 위하여 BDE 기법을 적용하고 개선된 효과를 검증하였다. 표준 테스트 패턴에서 130mK 온도 차이까지 구분이 가능하였다. 상대적으로 어두운 영역에서 영상 개선 효과가 있음을 알 수 있다.
- 3) 실장 시험을 통하여 디테일 향상 효과로 인하여 도로 상의 다양한 객체 인식이 가능한 영상을 확보할 수 있음을 확인하였다.

차후 영상 처리 및 패턴 인식 알고리즘을 적용하여 사람, 동물, 차량, 표지판 등을 인식하여 선택적으로 정보를 제공하는 후속 연구를 통하여 상용화가 기대된다.

References

- [1] T. Tsuji, H. Hattori, M. Watanabe, N. Nagaoka, "Development of night-vision system", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 3, no. 3, pp. 203-209, Sep. 2002
DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2002.802927>
- [2] Tsz-Ho Yu, Yiu-Sang Moon, Jiansheng Chen, Hung-Kwan Fung, Hoi-Fung Ko and Ran Wang, "An Intelligent Night Vision System for Automobiles", *MVA2009 IAPR Conference on Machine Vision Applications*, pp. 505-508, May, 2009.
- [3] FLIR Technical Note [Internet]. Available From: https://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Tech.../TN_0003_EN.pdf. (accessed Oct., 25, 2017)
- [4] Ms. Shweta Tyagi, Mr. Hemant Amhia., Mr. Shivdutt Tyagi, "Comparative Study of Image Enhancement and Analysis of Thermal Images Using Image Processing and Wavelet Techniques", *IJCER*, vol. 03, no. 4, pp. 32-38, April, 2013.

- [5] Lo Tzer Yuan, Sim Kok Swee, Tso Chih Ping, "Infrared Image Enhancement Using Adaptive Trilateral Contrast Enhancement", *Pattern Recognition Letters* 54, pp. 103-108, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.09.011>
- [6] Nirmal Chandran, Bindu V., "Infrared Image Enhancement Using Normalization and Beta Function", *International Journal Of Engineering And Science*, vol. 3, Issue 6, pp. 19-22, Aug, 2013.
- [7] Chao Zuo, Qian Chen, Ning Liu, Jianle Ren, Xiubao Sui, "Display and detail enhancement for high-dynamic-range infrared images", *Optical Engineering*, vol. 50, no. 12, 127401, December, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1117/1.3659698>

조 덕 상(Deog-Sang Cho)

[정회원]



- 1991년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 2013년 8월 : 목포해양대학교 해상운송시스템 (공학박사)
- 2001년 7월 ~ 2009년 8월 : ㈜아구스 대표이사
- 2010년 5월 ~ 현재 : ㈜룩스 대표이사

<관심분야>

ADAS, Image Recognition, FIR Camera

양 인 범(In-Beom Yang)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : GIST 기전공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 고려대학교 제어계측공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2016년 8월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 2016년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 스마트자동차학과 교수

<관심분야>

ADAS, Smart Agent, Human-X