

IR 센서를 이용한 아크 발생 검출 장치 구현

현득창^a

극동대학교 유비쿼터스IT학과

Implementation of the Arc Detection Device Using IR Sensor

Deuk-Chang Hyun^a

Department of Ubiquitous IT, Far East University, Eumseong 27601, Korea

(Received October 31, 2016; Revised February 16, 2017; Accepted February 23, 2017)

Abstract: Recently energy consumption has been increasing because of advances in the industry, and electrical fires have accounted for 31.9% of all fire accidents. An electrical fire is caused by a short circuit, power surge, or poor contact. Safety devices for short circuits or power surges are currently mandatory and can actually detect problems, but arcing caused by contact failure is difficult to detect in advance. This study used an IR sensor to detect the heat concentration caused by the arc. The data from the low-resolution sensor was amplified as much as four times by interpolation to find the exact location of the heat source and were then investigated.

Keywords: Implemetation, Arc, IR sensor, Interpolation

1. 서 론

최근 산업의 고도화로 인해 에너지의 소비가 증가하고 있으며, 그 중 전기에너지는 클린에너지로 각광받으며 사용량이 매우 크게 증가하고 있다 [1]. 전기에너지 사용의 증가에 따라 전기 안전사고의 발생률 또한 증가하게 되었으며 특히 전기화재는 전체 화재사고 중 2004년 기준 31.9%로 매우 높은 비율을 차지하고 있다 [2].

또한 장소별 발생현황을 볼 때 주택이나 아파트에서 가장 많은 전기화재가 발생하고 있으며, 원인별 발생현황을 보면 단락, 과부하, 누전, 접속불량 순으로 나타나고 있다 [2-5].

수용가의 분전반에서 단락, 과부하, 누전에 대한 안

전설비로 누전차단기 및 과부하차단기를 설치를 의무화하여 이와 관련된 사고는 줄어들고 있지만, 접속불량에 따른 접점 아크에 의한 화재사고를 방지할 수 있는 설비는 아직까지 개발, 운용되지 못하고 있다. 해외에서는 아크에 의한 감전사고 및 화재사고를 방지하기 위해 아크 차단기 설치 및 대용량 설비에서의 아크 검출장치 설치를 의무화하고 있지만 국내에서는 아직 이와 관련한 규정이 없으며, 대용량 설비용 아크 검출장치로서 자외선 파장의 불꽃을 감지하여 아크 발생여부를 알려주는 장치가 현재 연구 개발되고 있다. 그러나 현재 개발된 장치는 매우 고가의 장비로 수용가 분전함에 적용하기에 어렵고 오직 일부 플랜트 시설에서만 적용되고 있다 [6-8].

본 논문에서는 저가형 적외선 카메라를 이용하여 아크에 의해 발생하는 열을 검출하여 사용자에게 위험을 알려주는 시스템 개발에 대한 기술보고로서 16×4 적외선카메라 모듈을 이용하여 검출한 열신호를 보간법으로 64×16 화상으로 변환하여 사용자가 열이 집중되는 개소를 손쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

a. Corresponding author; hyundc@kdu.ac.kr

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 실험 방법

2.1 적외선 센서 모듈



Fig. 1. 16×4 IR sensor [9].

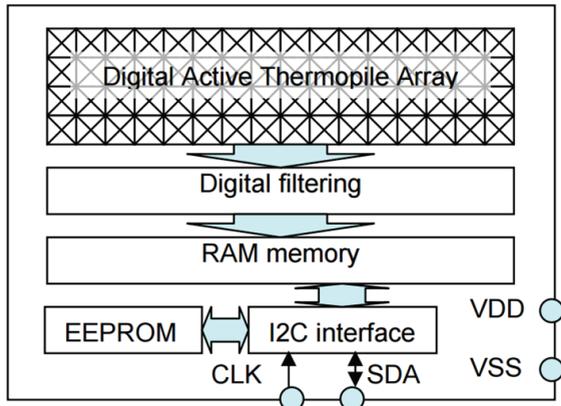


Fig. 2. Internal structure of MLX90620 [9].

16×4해상도를 갖는 저가형 열화상 센서는 Melexis사의 MLX90620을 사용하였으며, 소형(TO-39 package), 저가, 16×4의 해상도를 가지며 센싱 속도는 0.5 Hz에서 1 Hz까지 가능하다. 구동전압은 3.3 V에서 2.6 V의 단일 전압이 필요하지만 MLX90620를 최고의 성능으로 사용하기 위해서는 반드시 2.6 V의 전압을 인가 해주어야 하기 때문에 정전압 레귤레이터를 이용하여 2.6±0.1 V를 공급할 수 있도록 하였다.

MLX90620를 동작하기 위한 전류는 9mA이하이므로 저압 설비가 없는 구조에서도 적용이 가능하며, 온도 측정 범위는 -50°C에서 300°C까지 측정 가능하고 측정 각(field of view, FOV)는 40°에서 60°이다. 본 감시 시스템에서 사용된 것은 FOV가 60°인 것을 사용하였다.

또한 MLX90620은 메인 CPU와 I2C 인터페이스를 사

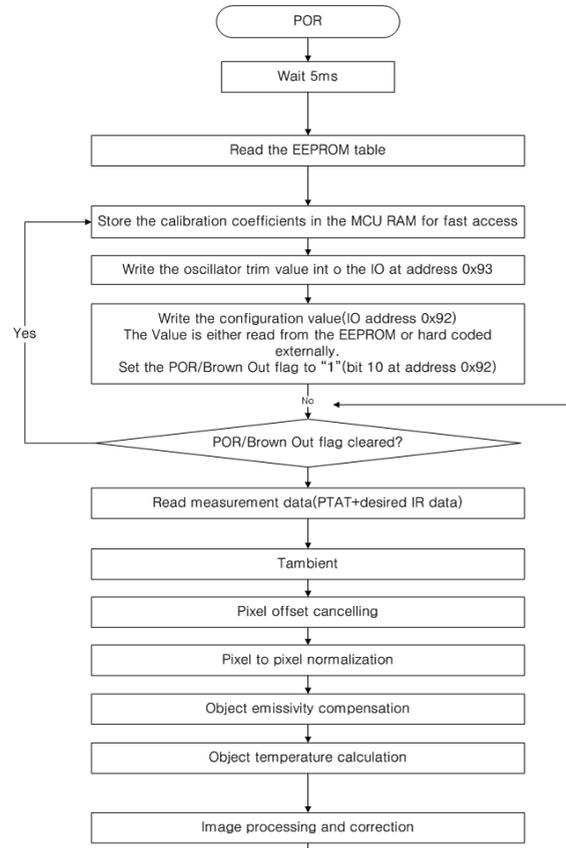


Fig. 3. Flowchart of MLX90620 [9].

용하며 내부에 온도값 조정에 필요한 정보가 EEPROM에 저장되어 있다. 메인 CPU에서는 온도 값과 이 EEPROM의 값을 읽어서 최종 온도를 계산해야 하는데, 이를 위해서는 상당히 복잡한 수식이 필요하다.

MLX90620는 자체 온도(T_a)와 타겟 온도($T_{o(i,j)}$)를 측정할 수 있으며 자체 온도를 측정하기 위한 공식은 식 1과 같다. 그림 4는 자체온도의 구현코드이다.

$$T_a = \frac{-K_{T1} + \sqrt{K_{T1}^2 - 4K_{T2}[V_{TH}(25) - PTAT_{data}]}}{2K_{T2}} + 25 \quad (\text{식 1})$$

T_a : 자체온도

K_{T1} : 초기 EEPROM에 저장된 값

K_{T2} : EEPROM에 두번째로 저장된 값

$V_{TH}(25)$: 25°C 일때 개별픽셀 관독값

$PTAT_{data}$: 각 픽셀의 값

MLX90620의 타겟 온도 공식은 식 2와 같으며 물체의 온도를 구하기 위해서는 자체 온도 공식을 이용하여 미리 자체 온도를 산출해 놓아야 한다.

```

unit16_t IR90620TaCalc(void)
{
    unit8_t VTH_L = IR_EEPROM[0xDA];
    unit8_t VTH_H = IR_EEPROM[0xDB];
    unit8_t KT1_L = IR_EEPROM[0xDC];
    unit8_t KT1_H = IR_EEPROM[0xDD];
    unit8_t KT2_L = IR_EEPROM[0xDE];
    unit8_t KT2_H = IR_EEPROM[0xDF];

    float VHT25, KT1, KT2, tempf;
    int32_t temp;
    if(temp>32767){
        VHT25 = temp - 65536; }
    else {
        VHT25 = temp; }

    temp = 256 + KT1_H + KT1_L
    if(temp > 32767){
        KT1 = (float)(temp - 65536) / 1024. ; }
    else {
        KT1 = (float)(temp) / 1024. ; }

    temp = 256 + KT2_H + KT2_L;
    if(temp > 32767){
        KT2 = (float)(temp - 65536) / 1024. ; }
    else {
        KT2 = (float)(temp) / 1048576. ; }

    tempf = 4*KT2*(VHT25-IR_PTAT[0]);
    TA=(-1*KT1+sqrt((double)(KT1*KT1+tempf)))/2*KT2+25;
}

```

Fig. 4. Temperature of absolute chip.

```

temp1=pow(2, a0_SCALE);
tmep2=pow(2, delta_a_SCLAE);
temp3=pow(2, Bi_SCALE);
j=-1;

for(i=0;i<64;i++){
    if(!(i%4)){j++;}

    Aj = IR_EEPROM[i];
    if(Aj > 127) { Aj=Aj-256; }

    Bi=IR_EEPROM[0x40+i];
    if(Bi > 127) { Bi=Bi-265; }

    VIR =IR_DATA[i];
    if(VIR > 32767) { VIR=VIR-65536. ; }

    VIR_OFF_COMP =VIR - (Ai+(Bi/temp3)+(TA-25));
    VIR_TGC_COMP = VIR_OFF_COMP - (TGC/32)+VCP_OFF_COMP;
    e = (256*e_H + e_L)/32765.;
    VIR_COMP = VIR_TGC_COMP /e;

    aij=(256.*a0_H+a0_L -(TGC/32.) * (256.*aCP+H +aCP_L))/temp1 + IR_EEPROM[0x80+i]/temp2;
    IR_CALC_DATA[(i%4)*16+j] =sqrt(dqrt(VIR_COMP/aij + pow((TA +273.15),4)))-273.15;
}

```

Fig. 5. Temperature of specific pixels.

$$T_{o(i,j)} \sqrt{\frac{V_{IR(i,j)} - COMPENSATED}{\alpha_{(i,j)}} + (T_a + 273.15)^4} - 273.15 \quad (\text{식 2})$$

$T_{o(i,j)}$: 타켓 온도

$V_{IR(i,j)} - COMPENSTED$: 각 픽셀 보상신호

$\alpha_{(i,j)}$: 각 픽셀의 민감도 계수

식 2의 $T_{O(i,j)}$ 값에서 i, j 는 각 픽셀의 좌표가 되며 i 는 0에서부터 15까지 j 는 0에서부터 3까지의 값을 가지게 되고 최종적으로 자체온도 공식을 16번 수행하게 된다.

이 수식들과 프로그램 순서 구현을 위해 보드에서 사용되는 CPU는 플로팅 포인트가 지원되는 DSP급이 사용하였고 동작 클럭은 168 Mhz이다.

2.2 모의 분전반

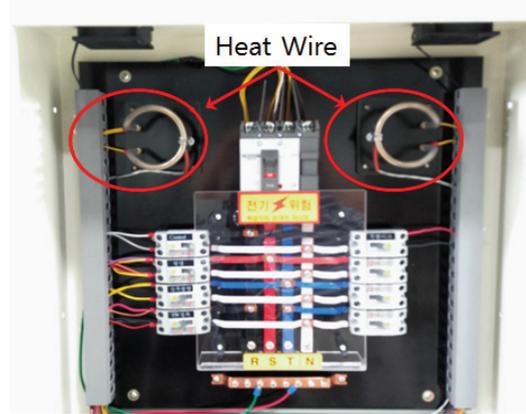


Fig. 6. Panel board.

실증 실험을 하기 위해 모의 분전반을 제작하였다. 모의 분전반은 실제 분전반과 동일한 형태로 제작하였으며, 상단에 열선을 설치하여 온도조절이 가능하도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

임베디드 CPU에 적용하기 위한 2차원 보간법은 성능이 검증이 되는 것은 물론이고 구현 방법도 CPU에 부하를 최소로 하는 알고리즘을 사용해야 하기 때문에 본 감시 시스템에서는 겹선형 보간법(bilinear interpolation)을 사용하였다.

겹선형 보간법은 영상처리에서 가장 보편적으로 사용되는 보간 기법으로 겹선형 보간법에서 생성되는 픽셀은 네 개의 가장 가까운 픽셀들에 가중치(weight)를 곱한 값들의 합이며, 가중치들은 선형적인 방법으로 결정된다. 각각의 가중치는 각각의 픽셀로부터의 거리에 반비례한다. 즉, 주변 픽셀들의 평균값을 계산하여 확대된 영상에서 할당 받지 못한 빈 픽셀에 대입시키는 방법을 사용하였다. 이는 4개의 주어진 값들 사이의 새로운 값을 만들어내는 방법이다.

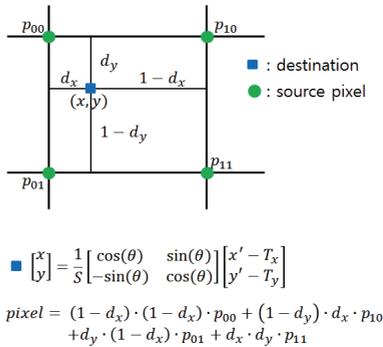


Fig. 7. Bilinear interpolation.

```
static void resizeBilinearGray(float *pixels, float *temp, int w, int h, int w2, int h2)
{
    uint8_t index;
    float A, B, C, D, x, y, gray;
    float x_ratio = ((float)(w-1))/w2;
    float y_ratio = ((float)(h-1))/h2;
    float x_diff, y_diff;
    int offset = 0;
    int i, j;

    for(i=0; i<h2; i++) {
        for(j=0; j<w2; j++) {
            x = (int)(x_ratio * j);
            y = (int)(y_ratio * i);
            x_diff = (x_ratio * j) - x;
            y_diff = (y_ratio * i) - y;
            index = y*w+x;

            A = pixels[index];
            B = pixels[index+1];
            C = pixels[index+w];
            D = pixels[index+w+1];

            gray = (A+(1-x_diff)*(1-y_diff)+B*(x_diff)*(1-y_diff)
                +C*(y_diff)*(1-x_diff)+D*(x_diff*y_diff));
            temp[offset++] = gray;
        }
    }
}
```

Fig. 8. Code of bilinear interpolation.

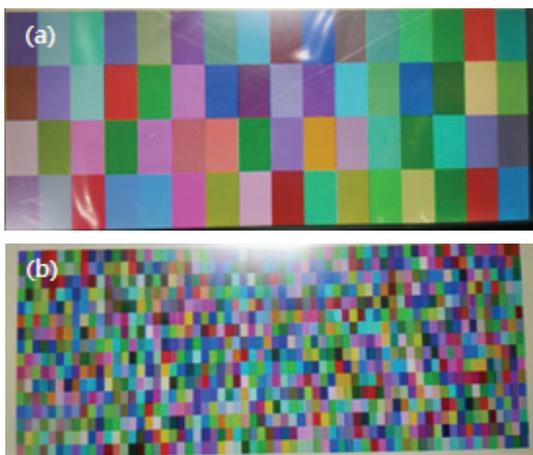


Fig. 9. IR image, (a) original image and (b) after interpolation image.

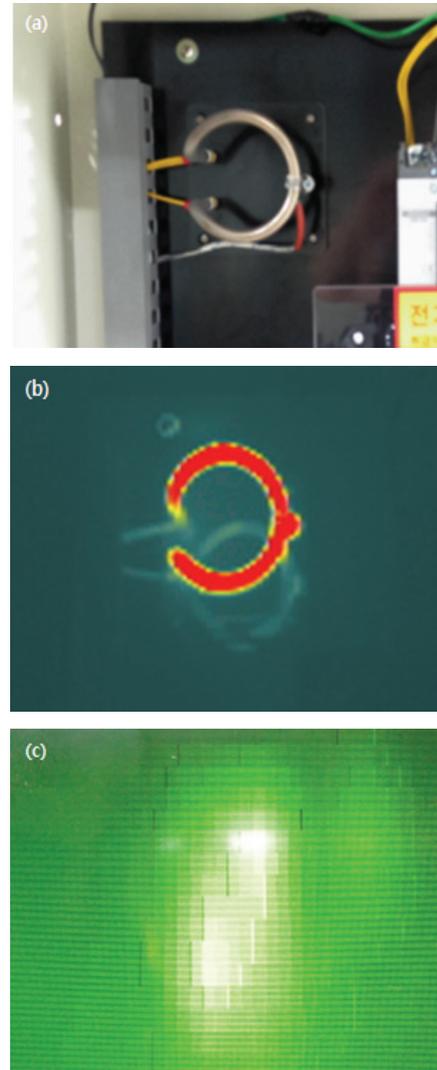


Fig. 10. IR image, (a) original image, (b) EasIR image (160×120 pixels), and (c) manufacture device image (64×16 pixels).

두 방향의 선형 보간법과 관련되어 있으며 새롭게 생성된 픽셀의 값이 네 개의 가장 가까운 픽셀들에 가중치를 곱한 값이 된다. 곁선형 보간법은 nearest neighbor Interpolation 보다 더 매끄러운 영상이 생성된다.

그림 9(a)는 MLX90620 센서로부터 입력된 신호를 나타낸 것이며, 그림 9(b)는 보간법 처리후의 이미지를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 센서의 원 신호는 16×4 픽셀로 정보를 제공하지만, 보간법을 통해 64×16 픽셀로 원신호 데이터를 4배로 확대한 효과를 나타내고 있다.

그림 10은 모의 배전반에 열선을 100°C로 설정한 후 촬영한 이미지로서 10(a)는 카메라 영상을 나타내고 있으며, 10(b)는 800×600 픽셀의 해상도를 가지는 열화상카메라 이미지를 나타내고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 800×600 픽셀 열화상 카메라에서는 열상 정보가 정확히 링의 모습을 나타내었지만, 보간법을 이용한 개발제품은 열분포가 원의 모습을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 보간법 자체가 열정보를 기초로 이웃하는 새로운 점의 온도를 만들어가기 때문에 열원 온도가 100°C 이상에서 점차적으로 낮은 온도로 표시되기 때문에 열원안은 전체적으로 열이 높은 것처럼 나타나기 때문이라고 생각된다.

4. 결론

저해상도 IR 센서를 이용한 가정용 분전반의 전기화재 예방 장치를 개발한 결과, 보간법에 의해 16×4 픽셀을 64×16 픽셀로 확대하더라도 최초로 취득한 기본 데이터가 16×4 픽셀 이미지이므로 고해상도의 이미지를 구현할 수는 없었으나 열집중 개선에 대한 파악은 가능한 것으로 확인되었으며, 추후 가중치의 변경에 따른 이미지 보정을 통해 보다 정밀한 이미지 구현이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2015년도 극동대학교 교내연구비 지원에 의해 수행된 것임(FEU2015R12).

REFERENCES

- [1] H. N. Ryu, *A study on security system for preventing and extinguishing fires on electric instrument in house*, p. 1, Seoul National University of Technology, Seoul (2006).
- [2] M. S. Han, *A study on the danger of the electrical fire due to the weakness of the contact of writing utensil*, p. 1, Graduate School of Industry and Engineering Seoul National University of Technology, Seoul (2005).
- [3] S. Y. Kim, *A study on the criminal justice process of evidence to the case of electricity fire crime laboratory*, p. 1-4, Graduate School of Industry Gwangju University, Gwangju (2001).
- [4] J. K. Choi, *Development of Voltage Sensing Type AFCI for Electrical Fire Prevention*, p. 1-7, Kwangwon National University, Samcheok (2014).
- [5] K. Dodtert, *Sens. Actuators*, **3**, 159 (1983). [DOI: [https://doi.org/10.1016/0250-6874\(82\)80017-6](https://doi.org/10.1016/0250-6874(82)80017-6)]
- [6] J. E. Traister and T. Kennedy, *Low Voltage Wiring: Security/Fire Alarm Systems* (McGraw Hill, New York, 2002) p. 199-212.
- [7] V. Gurevich, *Electric Relays: Principles and Applications* (CRC Press, New York, 2005) p. 671.
- [8] V. Gurevich, *Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Application* (CRC Press, New York, 2008) p. 418.
- [9] Melexis, MLX90620 datasheet, p. 1-20 (2016).