

재난 감시를 위한 적외선 열화상 처리 시스템의 구현

Implementation of Infrared Thermal Image Processing System for Disaster Monitoring

김원호, 김동근

Won-Ho Kim, Dong-Keun Kim

요약

본 논문은 재난 감시를 위한 디지털 미디어 프로세서 기반의 적외선 열화상 처리 시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술한다. 디지털 열화상 처리 보드는 DM642 디지털 미디어 프로세서와 비디오 인코더, 비디오 디코더 상용 칩을 기반으로 설계하고 구현하였다. 또한, 재난 감시 기능은 적외선 열화상의 온도분포를 분석하고 화재발생과 같은 재난상황을 감시하는 알고리즘을 구현하였으며, 적외선 열화상 입력은 320 x 240 μ -bolometer 타입의 적외선 열화상 카메라를 사용하였다. 구현된 시제품의 시험 평가 결과, 10 프레임/초의 처리 속도로 요구되는 적외선 열화상 분석과 화재 검출 기능이 잘 동작하였으며 구현 시스템의 실용성을 확인하였다.

Abstract

This paper presents design and implementation of infrared thermal image processing system based on the digital media processor for disaster monitoring. The digital thermal image processing board is designed and implemented by using commercial chips such as DM642 processor and video encoder, video decoder. The implemented functions for disaster monitoring are to analyze temperature distribution of a monitoring infrared thermal image and to detect disaster situation such as fire. For the input of infrared thermal image processing system, an infrared camera of type of the 320 x 240 μ -bolometer is used. The required functions are confirmed with 10 frame/second of processing performance by testing of the prototype and Practicality of the system was verified.

Keywords : Image processing system, Infrared thermal image, Disaster monitoring.

I. 서론

최근에 도시 및 중요시설을 화재와 같은 재해로부터 보호하기 위한 영상 재난 감시 시스템의 필요성이 많이 제기되고 있다. 또한, 유비쿼터스 센서 네트워크 기술과 CCTV 카메라가 연동된 영상 감시 시스템의 기술이 소개되면서 전국 지자체나 관공서를 중심으로 화재와 같은 재난을 조기에 감지할 수 있는 U-city 재난 감시 시스템의 도입이 점차 늘어가고 있다. 기존 CCTV 감시 시스템은 24시간 사람이 모니터를 보면서 재난발생을 감시하는 방식이었다. 이러한 방식은 인력과 운영의 효율성이 매우 떨어질뿐만 아니라 주간이나 야간, 날씨 등과 같은 주변 환경에 따라 감시능력이나 성능에도 많은 영향을 미치는 경우가 발생한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 본 논문에서는 주변 환경의 영향을 받지 않는 적외선 열화상 카메라와 영상 처리 기법을 적용하여 재난을 자동으로 감지할 수 있는 디지털 미디어 프로세서 기반의 적외선 열화상 재난 감시시스템을 제안하고 설계 구현하였다[1]-[5].

디지털 미디어 프로세서(Digital Media Processor)는 현재 산업 현장에서 디지털 영상 처리와 동영상을 압축하여 저장하거나 전송하기 위한 비디오 코덱을 구현하기 위하여 많이 사용되고 있는 영상 처리용 디지털 신호 처리기(Digital Signal Processor)이다[6]. 본 논문에서는 이러한 디지털 미디어 프로세서를 적용하여 적외선 열화상 감시 시스템에 요구되는 최소한의 기능과 소형화를 목표로 하여 하드웨어를 설계 구현하였으며, 화재 등과 같은 재난 감시를 위하여 적외선 열화상 분석 알고리즘을 제안하고 구현하였다. II장에서 재난 감시를 위해서 제안한 적외선 열화상 분석 알고리즘에 대하여 설명하고, 적외선 열화상 처리 시스템의 설계 및 구현은 III장에서, 구현된 시제품의 기능과 성능을 시험하고 평가한 결과에 대한 내용은 IV장에 기술한다.

II. 적외선 열화상 분석 알고리즘

재난 감시를 위한 적외선 열화상 분석 알고리즘은 다음과 같은 기능을 처리한다.

- 온도 분포 분석 기능
- 임계치 온도초과 영역 표시 기능
- 온도 분포 영역별 컬러영상 변환 기능

*공주대학교

투고 일자 : 2009. 9. 24 수정완료일자 : 2010. 1. 23

계재확정일자 : 2009. 1. 29

- 화재 검출 기능

적외선 열화상의 명암도는 피사체의 온도에 따라 방출되는 적외선의 세기에 대응하여 표시된다. 재난 감시를 위한 감시 대상 영역의 온도 분포 분석은 적외선 열화상 카메라에서 제공하는 중앙 화소 점의 온도 정보를 이용하여 N개의 온도 분포 영역으로 분리하는 기능을 수행한다. 전체 열화상의 영역 분리는 화소단위로 처리되며 열화상의 모든 화소에 대한 온도 값을 환산하여 구한 다음 N개의 영역으로 분할한다. 각 화소의 온도 값($T_{x,y}$) 계산은 다음 식에 의해 근사적인 값으로 환산된다.

$$T_{x,y} = T_{center} - \alpha(GrayLevel_{center} - GrayLevel_{x,y}) \quad (1)$$

T_{center} 는 적외선 열화상 카메라가 제공하는 열화상의 중앙 화소 온도 값이며 α 는 실험에 의해 얻어진 온도 변환 상수 값이다. $GrayLevel_{x,y}$ 는 해당 화소 점의 명암도 크기이고 $GrayLevel_{center}$ 는 중앙 화소 점의 명암도 크기이다. 적외선 열화상의 화소별 명암도 레벨의 범위는 0에서 255값을 가진다.

임계치 온도를 초과하는 영역에 대한 표시 기능과 온도 분포 영역별 컬러영상 변환은 화재와 같은 재난 상황을 파악하기 위하여 운영자가 설정한 임계치 온도를 초과하는 영역이 발생하면 이 영역을 적색과 같은 특정 컬러로 표시하는 기능과 적외선 카메라에서 출력된 명암도 열화상을 컬러 영상으로 변환하여 디스플레이하는 기능을 수행한다. 이들 기능도 열화상의 화소별 온도 값 환산이 수행된 후 화소단위로 처리된다.

화재 검출 기능은 감시 대상 영역중 온도 분포가 특정 임계치 이상인 영역을 대상으로 화재 확산과 불꽃의 움직임 변동을 식 (2)와 같이 블록의 절대차 평균값을 이용하여 화재 영역을 검출한다. 화재 영역의 판정은 연속되는 K개 열화상 프레임의 블록별 절대차 평균(Mean of Absolute Difference)을 누적하여 변화량이 주어진 임계치를 초과하면 화재 영역으로 판정하고 알람을 발생하는 동작을 수행한다. 화재 영역의 확산과 불꽃의 동적인 특성을 반영한 화재 영역 검출 방식은 정적인 특성을 가지는 콘크리트 구조물, 도로, 큰 암석의 햇빛 반사와 같은 화재 오검출 요소에 강인한 특성을 가진다[7].

$$MAD = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |MB_{t-1}(m,n) - MB_t(m,n)| \quad \text{식(2)}$$

열화상의 블록 크기는 $M \times N$ 이고 $MB_{t-1}(m,n)$ 는 이전 프레임의 블록을 $MB_t(m,n)$ 은 현재 프레임의 블록을 의미한다.

III. 설계 및 구현

재난 감시를 위한 적외선 열화상 감시 시스템의 하드웨어 구성도는 그림 1과 같다. 시스템의 하드웨어 구성은 적외선 열화상 카메라, 디지털 열화상 처리 보드, 시스템 제어 컴퓨터, 디스플레이 장치로 크게 구분된다.

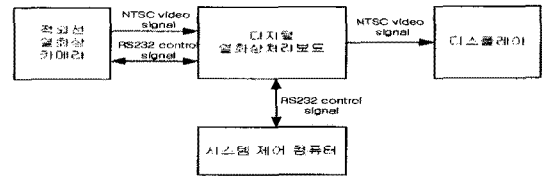


그림 1. 적외선 열화상 처리 시스템의 구성도
Fig. 1. The block diagram of infrared thermal image processing system.

적외선 열화상 카메라는 320 x 240 μ -bolometer FPA (Focal Plane Array) 타입의 카메라를 사용하였다. 이 카메라는 0.07°C 까지의 온도 차이를 감지하여 열화상으로 출력 가능하며, 연기나 안개 등을 투과하여 사물을 볼 수 있다. 또한, 시리얼 통신 기능, 디지털 줌기능, 측정 대상 온도 범위 설정 기능, 수동 초점제어기능, 열화상의 중앙 화소점 온도 제공 기능을 가지고 있으며, 카메라와 디지털 열화상 처리 보드간 직렬통신을 통하여 카메라의 설정을 변경할 수 있다.

디지털 열화상 처리 보드는 DM642 디지털 미디어 프로세서를 CPU로 적용하여 구현하였다[7]. 그림 2는 설계 구현한 디지털 열화상 처리 보드의 기능 구성도를 나타낸다.

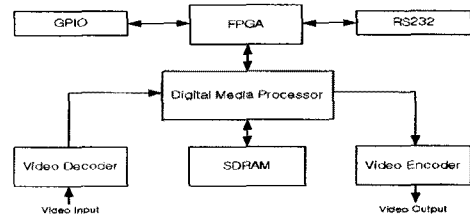


그림 2. 디지털 열화상 처리 보드의 기능 구성도
Fig. 2. The block diagram of digital thermal image processing board.

디지털 미디어 프로세서 칩은 비디오 캡처 및 디스플레이 채널을 포함하고 있는 프로세서로서 최대 720MHz로 동작 가능하며 5,760 MIPS의 처리속도로 초당 30프레임의 열화상을 처리 할 수 있다. 적외선 열화상 카메라의 NTSC 아날로그 열화상 신호를 입력하기 위하여 저 전력 NTSC 비디오 디코더를 사용하였다. 비디오 디코더는 고속의 9-Bit ADC를 내장하고 있으며 ITU-R BT.601 표준 샘플링 기능을 지원한다. 처리된 열화상을 디스플레이 장치로 출력하기 위하여 NTSC 비디오 인코더를 적용하였다. NTSC 비디오 인코더는 비월주사일 때 최대 1,920x1,080 해상도를 지원하며 3개의 RGB DAC기능을 내장하고 있다. RS-232 통신 기능은 시스템 제어기와 제어 및 상태 정보를 교환하기 위한 직렬 통신 용도이며 알람신호를 출력하기 위한 범용 입출력 포트이다. 그림 3은 구현된 디지털 열화상 처리 보드의 사진이며 적외선 열화상 분석 알고리즘은 디지털 열화상 처리 보드에 프로그래밍 되어 재난 감시동작을 수행한다. 적외선 열화상 분석 프로그램의 순서도는 그림 4와 같으며 분석주기는 100ms이다.

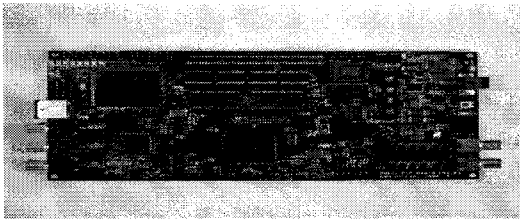


그림 3. 구현된 디지털 열화상 처리 보드의 사진
Fig. 3. The picture of implemented digital thermal image processing board.

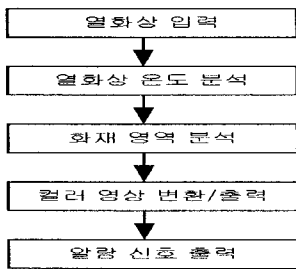


그림 4. 적외선 열화상 분석 프로그램의 순서도
Fig. 4. The flow chart of program of infrared thermal image analysis.

시스템 제어 컴퓨터는 사용자가 시스템의 동작에 필요한 제어 파라미터를 설정하고 시스템의 상태 정보를 디스플레이하는 기능을 가지고 있다. 시스템 제어 컴퓨터와 디지털 열화상 처리 보드와의 통신은 RS-232 직렬통신 방식을 사용하였다. 그림 5는 적외선 열화상 처리 보드의 제어 데이터를 입력하기 위하여 구현한 시스템 제어 컴퓨터의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 화면 사진이다. 시스템의 디스플레이 장치는 처리된 결과 열화상을 표시하기 위하여 LCD 모니터를 사용하였다.

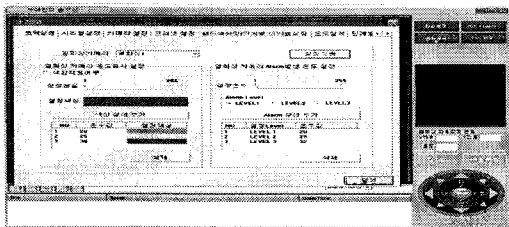


그림 5. 시스템 제어 컴퓨터의 GUI 화면 사진
Fig. 5. The picture of implemented GUI of system control computer.

IV. 시험 및 결과 분석

설계 구현된 적외선 열화상 처리 시스템의 시험 평가는 그림 6과 같이 시험환경을 구축하여 기능과 성능을 평가하였다. 시험 방법은 화재를 연출하고 적외선 열화상 카메라와 캠코더로 녹화한 테스트 동영상을 시스템에 입력하여 실시간으로 열화상의 온도 분포를 분석하고 설정된 임계치 온도초과 영역을 표시하거나 온도 분포 영역별로 설정된 컬러로 변환하여 디스플레이 하는 기능 및 화재

영역 검출 기능을 시험 평가하였다.

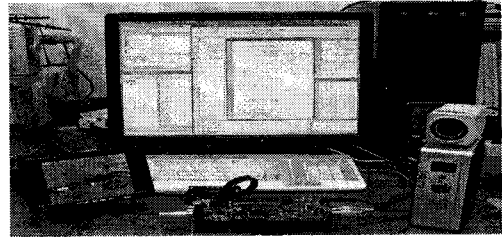


그림 6. 구현된 시제품의 시험 사진
Fig. 6. The picture of testing of implemented prototype system.

그림 7은 적외선 열화상 카메라로부터 입력되는 적외선 시험 열화상을 보여준다. 적외선 열화상은 피사체의 온도에 대응하는 명암도 열화상으로 표현이 되며, 온도가 높은 영역은 흰색으로 온도가 낮은 영역은 검은색으로 8비트 그레이 레벨로 열화상이 표현된다. 열화상의 좌측 중앙 지점에 흰색 영역이면서 적색으로 덧칠된 영역이 화재가 발생한 영역이다. 반면에 열화상의 중앙 지점과 우측 끝 부분의 온도가 높은 영역으로 표시되는 흰색 영역은 암석과 콘크리트 구조물로서 햇빛을 반사시켜 온도가 높게 표현되는 영역이다. 이러한 영역이 재난 감시 시스템의 오검출 요인으로 작용하여 감시 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 될 수 있다.

그림 8은 구현된 적외선 열화상 분석 알고리즘에 의해 분석 처리된 시험 결과영상을 보여주고 있으며 입력되는 적외선 열화상에 대해 실시간으로 열화상의 화소별 온도 분포를 분석하고 온도 값에 따라 열화상을 흑색, 청색, 황색, 적색의 4가지 영역으로 분할하여 컬러 영상으로 출력한 결과 영상이다. 이 영상에서 적색으로 표시된 영역이 가장 온도가 높은 영역으로 분석된 영역이다. 그러나 온도가 높은 영역으로 구분된 적색 영역이라도 구현한 화재 검출 기능에 의해 화재 영역과 비 화재 영역을 구분하여 화재 영역으로 검출된 영역이 존재할 때만 경보신호를 발생한다. 그림 8에서 화재 검출 기능에 의해 화재 영역으로 판정된 영역은 적색의 사각형으로 표시하였다. 또한, 화재 영역으로 오검출 될 수 있는 중앙의 큰 암석과 우측 중앙의 콘크리트 구조물은 적외선 열화상 분석에서 온도가 높은 물체로는 구분 되었지만 화재와 같은 재난 상황으로 판정되지 않아 화재 검출 기능이 정상적으로 동작됨을 확인하였다.

시스템의 처리 성능은 10 프레임/초(100ms 주기)의 프레임 속도로 적외선 열화상 분석, 컬러 열화상 변환 및 디스플레이, 화재 분석 기능을 완벽하게 처리하였으며, 화재 영역 검출 기능은 연속되는 N개의 프레임 분석에서 누적되는 절대차 평균값이 설정된 절대차 평균 임계치에 따라 화재 발생 후 최소 10초에서 최대 30 초 이내에 화재 영역의 화염을 자동으로 검출하고 알람신호를 발생하였다. 또한, 시스템 제어 컴퓨터와 디지털 열화상 처리 보드와의 시리얼통신 기능도 완벽하게 동작됨을 확인하였다. 시험에

사용된 열화상의 크기는 720 x 480 크기이며 열화상의 입출력 포맷은 NTSC 컴포지트 신호이다.



그림 7. 적외선 시험 열화상
Fig. 7. The infrared thermal image for test.



그림 8. 구현 시스템의 시험 결과 영상
Fig. 8. The test result image of implemented system.

V. 결론

본 논문에서는 재난 감시를 위하여 적외선 열화상 처리 보드와 적외선 열화상 분석 프로그램으로 구성된 적외선 열화상 감시 시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술하였다. 기존 CCTV 영상 모니터링 시스템을 이용하여 재난 상황을 감시하는 방식에 있어 인력과 운영의 효율성이 매우 떨어질 뿐만 아니라 주변 환경에 따라 감시 기능과 성능에 큰 차이가 발생하는 문제점들이 있어, 이를 해결하고자 지능형 적외선 열화상 처리 시스템을 제안하고 구현하였다. 구현된 시제품을 이용하여 기능과 성능을 시험한 결과, 10 프레임/초의 열화상 프레임 처리 속도로 적외선 열화상 분석과 화재 감시 기능이 잘 동작함을 확인함으로써 제시된 요구사항들이 만족하는지를 검증하였고 시스템의 실용성을 확인하였다. 도시 및 농촌 지역에 구현한 시스템을 적용하여 재난 감시에 활용할 경우, 재난 상황을 자동으로 감지할 수 있어 인력과 운영의 효율성이 매우 높아질 것으로 보인다. 향후 추진 과제로는 유무선 네트워크 환경에서 연동 가능하도록 이더넷 통신 기능이 포함된 열화상 감시 시스템의 구현을 추진할 계획이다.

참고 문헌

[1] S.Briz, A.J.de Castro, J.M. Aranda, J. Melendz, F. Lopez, "Reduction of false alarm rate in automatic forest fire infrared surveillance systems", *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Science Inc. pp19~26, 2003.

[2] B.C. Arrue, A. Ollero, J.M de Dios, "An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest fire detection", *IEEE intelligent system*, pp64~73, 2000.

[3] F.Gomez-Rodriguez, B.C. Arrue, "Smoke monitoring and measurement using image processing application to forest fires", *Proceedings of SPIE*, vol.5094, pp404~411, 2003.

[4] W. Philips, M.shah, N.V. Lobo, "Flame recognition in video", *The 5th IEEE workshop on application of computer vision*, pp224~229, 2000.

[5] 김정년, 박상성, 장동식, "영상 기반의 보안 및 서비스 로봇 개발", *한국신호처리시스템학회 논문지*, v.5, no.4, pp.308-316, 2004년 10월.

[5] Databook of TMS320DM642 Video & Imaging Fixed-Point Digital Signal Processor, Texas Instrument, 2007.

[7] 김원호, 김동근, "산불 자동감지 영상처리 알고리즘 개발" 연구보고서, pp16~26, 2006.

[8] Technical Reference of TMS320DM642 Evaluation Module with TVP Video Decoders, Spectrum digital Inc., 2007.

[9] Rafael C. Gonzalez, *Digital image processing using MATLAB*, Prentice Hall, 2004.

[10] C.T. Chen, *Digital signal processing*, Oxford university press, 2001.

김 원 호 (Won-Ho Kim)



1985년 경북대 전자공학과(공학사)
1987년 경북대 전자공학과(공학석사)
1999년 충남대 전자공학과(공학박사)

1989년 12월 ~ 1999년 8월 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원
1999년 8월 ~ 2005년 2월 천안공대 전자과 조교수
2005년 3월 ~ 현재 공주대학교 전기전자계어공학부 부교수
*주관심분야 : 영상 및 통신 신호처리, 지능형 영상감시, 위성멀티미디어통신

김 동 근 (Dong-Keun Kim)



1989년 충남대 계산통계학과(이학사)
1991년 충남대 계산통계학과(이학석사)
1996년 충남대 전자공학과(이학박사)

1996년 3월 ~ 2002년 2월 서남대학교 조교수
2002년 4월 ~ 2005년 2월 천안공대 컴퓨터과 조교수
2005년 3월 ~ 현재 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수

*주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스