Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2013.8.6.917

광역 화재감지를 위한 적외선 레이저 연기 검출 시스템의 설계 및 구현

박장식* · 송종관* · 윤병우**

A Design and Development of the Smoke Detection System Using Infra-red Laser for Fire Detection in the Wide Space

Jang-Sik Park* · Jong-Kwan Song* · Byung-Woo Yoon**

요 약

본 논문에서는 적외선과 가시광선 레이저를 이용하여 터널, 공항 등의 넓은 공간에서의 화재를 감지하기 위하여 연기검출 시스템을 제안한다. 제안하는 연기검출 시스템은 적외선 레이저 송수신기와 원거리에서 적외선 레이저 송수신 정합을 편리하게 하기 위한 가시광선 레이저 그리고 화재 경보를 전파하기 위한 Zigbee 무선통신 네트워크로 구성된다. 적외선 레이저 송신기와 수신기 사이에 연기가 발생하면 수신 신호의 크기가 기준값보다 작아지기는 것을 확인하고 연기를 검출한다. 적외선 레이저 송신기와 수신기 사이의 거리가 먼 경우에는 송신 측의 작은 변화에도 수신측에서는 상당히 큰 변이가 생겨 신호를 정합하는데 어려움이 있다. 본 논문에서 광역 연기검출을 위하여 적외선 레이저를 이용하고 효율적인 정합을 위하여 가시광선을 이용하는 방법을 제안한다. 그리고 연기가 감지되면 Zigbee 무선네트워크를 통하여 경보를 전달하는 연기검출 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a smoke detection system in order to detect a fire in a wide space, such as tunnel, airports using infra-red and visible laser. The proposed smoke detection system is composed of infra-red laser transmitter and receiver, visible laser and Zigbee wireless communication network. A visible laser is used to match transmitter and receiver and Zigbee network is utilized to propagate warnings of fire. If smoke is appeared between transmitter and receiver, received signals are decreased and it can be considered as occurring smoke. As IR laser transmitter and receiver are separated by long distance, it is difficult to match due to large variations caused by small change of direction. In this paper, it is proposed to match effectively using visible laser. When smoke is detected, warning informations are propagated by Zigbee network in the developed smoke detection system.

키워드

Smoke Detection, Infra-red laser, Visible laser, Zigbee
연기검출, 적외선 레이저, 가시광선 레이저, Zigbee

* 경성대학교 전자공학과(jsipark@ks.ac.krl)(jsong@ks.ac.kr)
** 교신저자(corresponding author) : 경성대학교 전자공학과(bwyoon@ks.ac.kr)
접수일자 : 2013. 04. 10 심사(수정)일자 : 2013. 05. 20 게재확정일자 : 2013. 06. 20

Ⅰ. 서 론

산업의 발전과 더불어 대규모 인원이 주거용 또는 업무용으로 생활할 수 있는 초고층 공동주책과 같은 대형 건물들이 늘어나면서 화재가 발생하였을 때, 신속한 대처가 이루어지지 않을 경우 막대한 인명과 재산 피해를 가져오기 때문에 대형 건물 등에는 화재를 감시하는 화재경보기가 설치되어 있다[1]. 이러한 화재경보기는 화재 검출기로부터 화재가 검출되는 신호가 입력되면 경보를 발생할 수 있도록 되어 있는데 통신기술의 발달은 이러한 종래의 화재감지기와 설비들을 원격지에 설치된 단말기 통신에 의하여 화재를 감시하고 제어할 수 있는 장치가 개발되고 있다[2-6]. 화재가 발생하여 확산되면 인적·물적 피해가 심각하기 때문에 화재를 조기에 검출하여 대응하는 것이 필요하다[7].

특히, 우리나라에서 터널 내 사고 대비 화재사고 비율은 2008년 17.6%로 매년 증가하고 있으며, 터널 내 화재사고가 발생하면 2차 사고와 후속 차량 탑승자의 대형 인명 사고가 발생할 우려가 크기 때문에 터널 내 화재사고의 신속한 감지와 조기 대응, 인명구조 등에 대한 대책이 없을 때는 사고 확대 및 대형사고로 이어질 수 있다. 따라서 2006년 3월 소방시설 설치 유치 및 안전관리에 관한 법률을 개장하여 지하공동구에 자동 화재탐지설비와 무선통신 보조설비, 연소 방지설비 등을 설치하도록 하고 있다. 자동 화재검출을 위한 센서는 온도 측정방법, 광학적인 방법, 이온식 그리고 이들을 조합한 혼합형이 있으며 보편적으로 연기감지 센서는 광학적 방법이 적용되고 있다. 광학적 방법은 디스크 모양의 플라스틱 챔버(chamber) 안에서 약 150 mm 및 25 mm 정도의 공간에서 연기를 검출한다. 그러나 광학적 방법은 넓은 공간에서 발생하는 연기를 감지하기 위해서는 다수의 센서를 설치하여야 하며, 연기가 상당히 확산되어야 감지가 가능하다. 광학적인 방법은 화재에 대한 직관적인 정보가 없기 때문에 오작동이 많고 관찰 영역 및 범위가 한정적이며, 화재가 발생하였을 때 즉각적인 상황전파가 되지 않는다[7]. 조기 화재검출을 위하여 영상기반의 연기 검출알고리즘이 제안되기도 하였다[8,9].

본 논문에서는 터널, 지하철, 공항, 지하주차장 등의 넓은 공간에 적용할 수 있는 적외선 레이저(Infra-red laser) 화재감지시스템을 제안한다. 적외선 레이저는 넓은 공간으로 확산되는 연기를 감지하는데 효과적이다. 가시광선 레이저(Visible laser)를 이용하여 원거리에 위치한 적외선 송신기와 수신기를 정합(matching)을 효과적으로 지원한다. 그리고 경보 전파를 위하여 Zigbee 무선통신기술을 적용한다.

Ⅱ. 적외선 레이저 연기 검출시스템 설계

제안하는 적외선 레이저를 활용한 연기검출 시스템에 대한 개념은 그림 1과 같다. 적외선 송신기와 수신기로 구성되어 송신기의 적외선 출력 신호를 수신기에서 수신하는 구조이다. 화재에 의하여 연기가 발생하면 수신기의 적외선 수신 신호의 크기가 작아지기 때문에 이를 활용하여 연기 발생 여부를 확인할 수 있다.

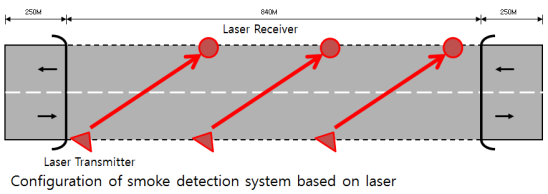

그림 1. 적외선 레이저 연기검출 개념도
Fig. 1 Concept of smoke detection with infra-red laser

기존의 연기 검출기를 터널과 같이 넓은 공간에 적용하는 경우에는 많은 수의 연기 검출기를 설치하여야 하며, 연기가 연기 검출기까지 확산되어 검출하는데 시간이 상당히 시간이 걸린다.

본 논문에서는 터널과 같은 넓은 공간에 그림 1과 같이 레이저 송신기과 수신기를 설치하고, 송신기와 수신기 사이에 연기가 발생하면 경보를 발생하면 연기를 검출하는 방식을 개선한다. 그림 1과 같은 방식은 연기 검출 방식에서는 송신기와 수신기 사이의 거리가 멀기 때문에 송신기 또는 수신기의 미세한 각도 변화가 생겨도 송신기와 수신기 정합되지 않을 수 있다. 적외선 레이저는 원거리에 대하여 확산되어 송신기와 수신기의 정합이 다소 용이하지만, 초기 설치시 위치와 송수신기의 각도를 확인하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 초기 설치 및 바람 등의 외부 요인에 의하여 송수신기가 정합되어 있지 않을 때, 송신기와 수신기에 가시광선 레이저를 같이 설치하여 보다 효율적인 정합 방법을 제안한다.

그림 2는 제안하는 적외선레이저 연기 검출시스템 구성과 검출 순서를 나타낸 것이다. 가시광선 레이저를 이용하여 위치와 방향을 결정하고, 적외선 송수신기에서 적외선 레이저를 송신하도록 하고, 수신기를 미세하게 팬/틸트를 조정하여 연기가 없는 상태에서 수신감도가 최대값이 되도록 방향을 조정하여 설치한다.

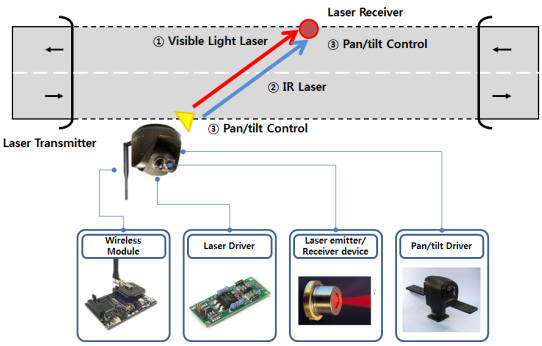

그림 2. 광역공간 연기 검출시스템의 구성도
Fig. 2 Configuration of smoke detection system in the wide space

III. 적외선 연기 검출시스템 구현

3.1 적외선레이저 송수신기 구현

그림 3과 4는 개발하는 적외선 및 가시광선 레이저 송신기와 수신기의 구조이다. 송신기는 마이크로콘트롤러(MCU, Micro-controller unit)와 레이저 드라이브 회로로 구성된다. 적외선 레이저는 연기를 검출하는데 사용되며, 송신기의 신호를 일정하게 유지하고, 수신기에서 수신한 신호의 변화량에 따라 연기 발생 여부를 판단한다. 가시광선 레이저는 원거리에 위치하는 송신기와 수신기를 효율적으로 정합하고, 검출 범위를 확인하기 위하여 사용된다. 100 m, 정도의 원거리에 설치되는 적외선 레이저 송신기와 수신기를 정확하게 정합하기 위해서는 상당히 번거로운 절차가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 불편한 점을 해결하기 위하여 적외선 레이저 송신기와 함께 가시광선 레이저를 눈으로 직접 확인하면서 설치함으로써 보다 효율적으로 설치 및 유지보수를 할 수 있도록 한다. 또한 Zigbee 무선통신을 이용하여 연기 발생 상황을 전파할 수 있도록 한다. Zigbee 무선통신 모듈은 IEEE 802.15.4 표준에 맞는 프로세서를 선정하여 설계 및 제작을 하였다. 2.4GHz RF 송수신 주파수 사용하고 31.25kbps에서 1Mbps 까지 가변 데이터 전송이 가능하다. 송신기에는 적외선과 가시광선 레이저를 구동하기 위한 구동회로가 있다.

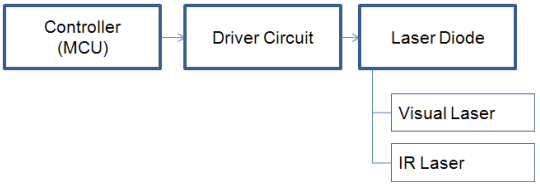

그림 3. IR 및 가시광선 레이저 송신기 구조
Fig. 3 Structure of transmitter of IR and visible laser

수신기는 적외선과 가시광선 레이저의 수광센서와 잡음을 제거하고 신호를 증폭하는 신호컨디셔닝회로 그리고 AD변환회로로 구성된다. AD변환회로는 MCU에 의하여 제어된다. 적외선 레이저는 Thorlab 사의 L980P010 적외선 레이저 다이오드를 사용한다. L980P010는 정격 파장은 980nm이며, 출력 전력은 10mW 이다.

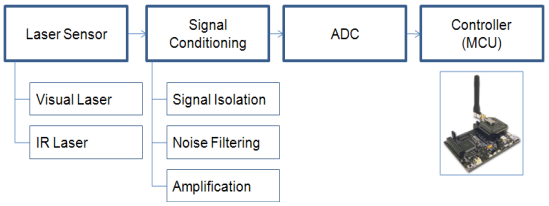

그림 4. IR 및 가시광선 레이저 수신기 구조
Fig. 4 Structure of receiver of IR and visible laser

적외선 레이저 수신용 센서는 Thorlabs 사의 FDS010을 사용한다. 수신파장 범위는 200~1,100nm 이며, 피크 파장은 730nm 이다. 최대 바이어스 전압은 25V 이지만, 12V를 사용한다. 광검출기의 회로는 그림 5와 같다. 회로도에서 PD1이 FDS010 포토 다이오드이다.

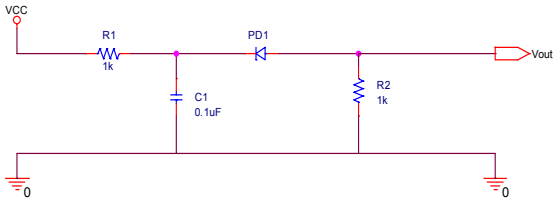

그림 5. 광검출기 회로
Fig. 5 Circuit of photo detector

3.2 연기검출 과정

송수신 거리에 따라서 최대값이 다르기 때문에 입력신호의 최대값과 현재 입력값의 차를 구하고, 이 값이 설정한 임계값 이상이 되면 연기가 발생한 것으로 처리한다.

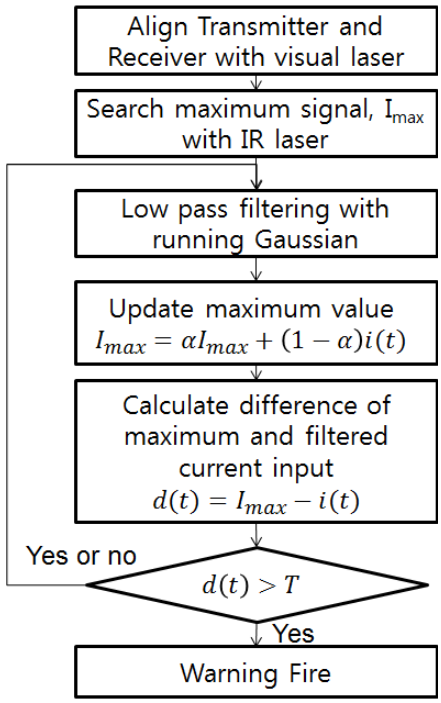

그림 6. 연기검출을 위한 흐름도
Fig. 6 Flow chart of smoke detection

또한, 먼지 또는 자동차 매연 등에 의하여 오염되어 신호가 감쇄되는 것을 고려하여 최대값을 지속적으로 갱신한다. 연기를 검출하는 과정은 그림 6의 흐름도와 같다. 설치 또는 교정시 가시광선 레이저를 이용하여 위치와 방향을 설정하고, 적외선 레이저신호의 최대값을 설정한다. 외부 잡음 처리를 위한 저역통과 필터링은 식 (1) 과 같다.

$$i(t+1) = \alpha i(t) + (1-\alpha) s(t) \tag{1}$$

$s(t)$는 적외선 레이저 신호이고, $i(t)$는 저역통과된 입력신호이다. α는 저역통과필터링을 위한 계수로써 0.9에서 1사이의 값으로 설정한다. 본 논문에서는 0.98로 설정하였다.

최대값, $I_{\max}$와 현재 입력 $i(t)$의 차이가 임계값 T 이상이면, 연기가 발생한 것으로 처리한다. 그러나 먼지 또는 자동차 매연 등에 의하여 수신 신호의 변화가 발생하기 때문에 최대값 $I_{\max}$를 식 (2), (3)과 같이 조정한다.

$$d(t) = I_{\max} - i(t) \tag{2}$$

$$I_{\max} = \begin{cases} \alpha I_{\max} + (1-\alpha) i(t), & d(t) < T_{\max} \\ I_{\max}, & d(t) \geq T_{\max} \end{cases} \tag{3}$$

여기서, $T_{\max}$는 최대값의 변화를 결정하는 임계값이다. 식 (2)의 $d(t)$가 식 (4)와 같이 임계값, T보다 크면, 연기가 발생한 것으로 간주한다.

$$d(t) > T \tag{4}$$

T는 연기를 검출하기 위한 임계값이며, T는 $T_{\max}$와 같은 값을 설정하여도 된다.

Ⅳ. 실험결과 및 검토

송신기, 수신기 그리고 모니터링 PC 구성은 그림 7과 같다. 송신기에는 적외선과 가시광선 레이저가 있으며, 수신부에는 수광소자 및 앰프회로부와 수신신호를 AD변환하여 Zigbee 무선통신네트워크로 전송을 할 수 있다. 모니터링 PC에는 Zigbee 통신모듈을 USB로 연결하여 수신 데이터를 모니터링을 할 수 있다.

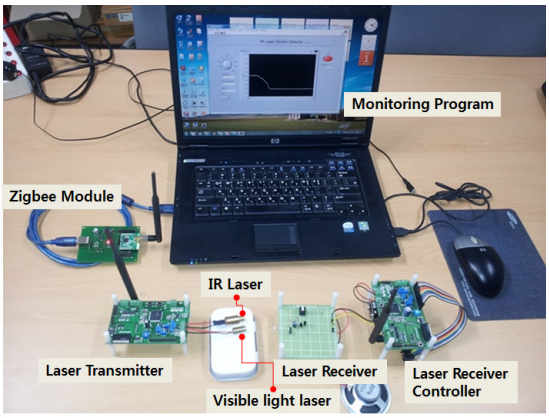

그림 7. 적외선 레이저 연기검출 시스템 구성
Fig. 7 Configurations of IR laser smoke detection system.

LabVIEW를 이용하여 그림 8과 같이 모니터링 프로그램을 구현하였다. 수신기의 수신 신호를 모니터링 할 수 있도록 수신 데이터를 그래프로 표시하고 임계값보다 클 경우에는 경고를 표시한다. 송신부와 수신부 사이에 인위적인 연기를 발생시켜 실험을 한 결과 연기를 정상적으로 검출하는 것을 확인하였다.

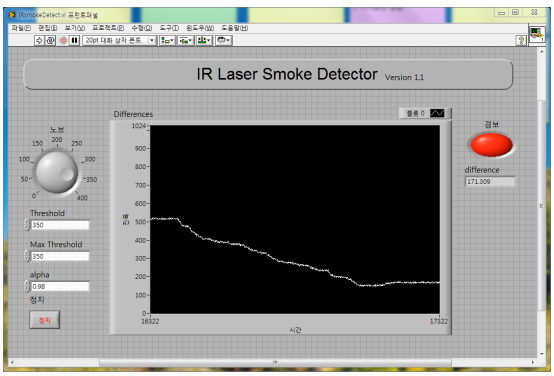

그림 8. LabVIEW를 이용한 모니터링 프로그램
Fig. 8 Monitoring Program using LabVIEW

V. 결 론

본 논문에서는 넓은 광역공간에서 효과적으로 연기를 검출하여 화재를 조기 감지하기 위하여 적외선 레이저, 가시광선 레이저, 그리고 Zigbee 무선통신시스템으로 구성된 연기 검출시스템을 제안하고, 연기 검출 성능을 확인하였다. 적외선 레이저를 이용한 연기 검출에 있어, 먼지 또는 자동차 매연 등에 의하여 송수신기의 렌즈가 오염된 경우를 고려하여 연기를 검출하는 방법도 제안하였다. 향후 적외선 레이저의 기준값을 설정하는 문제점을 개선하고 외부 영향에 대하여 민감한 특성을 개선하여 터널 내부에 적용하는 실험을 통하여 성능을 개선하고 보완하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학공동기술개발지원사업의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

[1] Ki-Jung Kim, “A Study on the Implementation of Digital Anti-fire Monitoring System with Multipoint Communication Protocol", Journal of The Korea Institute of Electronics Communication Sciences, Vol. 7, No. 6, pp. 1423-1428, 2012.

[2] Y. S. Moon, Y. N. Seo, N. Y. Ko, S. H. Roh, J. K. Park, “Robot Design for Fire Detection and Data Processing”, Journal of The Korea Institute of Electronics Communication Sciences, Vol. 5, No. 1, pp. 31-36, 2010.

[3] Se-Hwa Park, "A Study on the Development of Integrated Type Fire Alarm Control Panel for Ubiquitus Environment", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 24-30, 2010.

[4] D. Baek, J. Lee, E. Kim, "The Network of Fire Alarm Annuncator", Proceedings of Korean Institute of Fire Science and Engineering, pp. 114-119, 2010.

[5] Underwriters Laboratories Inc., "L Standard for Safety for Single and Multiple Station Smoke Alarms", UL217, Sixth Edition, 2006.

[6] National Emergency Management Agency, NFSC 203, 2010.

[7] X. L. Zhou, F. X. Yu, Y. C. Wen, Z. M. Lu and G. H. Song, "Early Fire Detection Based

on Flame Contours in Video", Information Technology Journal, pp. 1-10, Oct. 2010.
[8] J. S. Park, H. T. Kim, Y. S. Yoon, "Video Based Fire Detection Algorithm Using Gaussian Mixture Model", Journal of The Korea Institute of Electronics Communication Sciences, Vol. 6, No. 2, pp. 206-211, June, 2011.
[9] J. S. Park, J. K. Song, B. W. Yoon, "Gaussian Mixture Model Based Smoke Detection Algorithm Robust to Light Variations", Journal of The Korea Institute of Electronics Communication Sciences, Vol. 7, No. 4, pp. 733-739, 2012.

저자 소개

박장식(Jang-Sik Park)

1992년 부산대 전자공학과(학사)
1994년 부산대 전자공학과(석사)
1999년 부산대 전자공학과(박사)
1997년 3월~2011년 2월 동의과학대학 전자과 교수
2011년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 음성 및 음향신호처리, 영상처리 및 이해, 임베디드시스템

송종관(Jong-Kwan Song)

1989년 부산대 전자공학과(공학사)
1991년 KAIST 전기및전자공학과(공학석사)
1995년 8월 KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
1995년 9월~1997년 2월 SK 텔레콤 중앙연구소 선임연구원
1997년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 영상처리, 디지털신호처리, 디지털신호처리 응용 등임

윤병우(Byung-woo Yoon)

1987년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1989년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1992년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1993년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
1995년~현재 경성대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리, VLSI설계, 소나시스템