

화재감지를 위한 로봇 설계 및 데이터 처리

문용선* · 서영남** · 고낙용*** · 노상현**** · 박종규*****

Robot Design for Fire Detection and Data Processing

Yong-seon Moon* · Young-nam Seo** · Nak-young Ko*** · Sang-hyun Roh****, Jongkyu Park*****

요 약

본 논문에서는 화재감지를 위한 자율이동로봇을 설계하였다. 로봇은 넓은 범위의 검출을 위해 회전하는 열 센서를 갖추고 있다. 열 감지 센서인 A2TPMI를 사용하였다. 안정적인 데이터를 획득위해 화재감지를 위한 데이터 처리방법으로 AD컨버터와 칼만 필터를 사용하여 하였다.

ABSTRACT

In this paper, an autonomous mobile robot for fire detection is designed. The robot is equipped with thermal sensor which rotates for wide range of detection. The fire detector A2TPMI is used. A data processing method for robust fire detection is also implemented. AD converter and Kalman filter is applied to remove noisy signal from the fire detection sensor.

키워드

Fire detection, Mobile robot, Thermal sensor(A2TPMI), Kalman filter

I. 서 론

최근 대형건물, 초고층 건물과 도시기반 시설 등이 대규모로 건설되고 있으며, 이에 따라 화재의 발생 가능성과 위험성 또한 크게 증가되고 있다. 특히, 도시의 체계적인 개발을 목적으로 전기, 통신, 가스, 난방, 상수도 등 기간시설이 집중되고 있어 화재에 의한 사회, 경제적 피해규모가 매우 클 것으로 예상된다. 이러한 시설의 화재안전 확보를 위해서는 예방설계가 매우 중요하며, 일단 발생된 화재의 경우에는 신속하게 감지하고, 화재를 진압하여 피해를 최소화 하여야

한다. 그러나 적절하지 못한 감지기 및 시스템의 운영으로 현재 대다수의 자동화재감지시스템이 오동작을 하거나 화재감지를 못하는 문제점을 가지고 있는 실정이다[1][2][3].

최근 로봇산업이 발달하면서 로봇은 사회 안전 시스템 감지, 검점, 보수뿐만 아니라 재난극복에 활용될 수 있다. 또한 인간의 접근이 어려운 재난현장에서 재해를 극복하는데 도움이 될 수 있다[4]

이에 본 연구에서는 자율이동하며 화재조기 발견 및 조치를 위한 센싱 및 처리 기능을 가진 로봇을 설

* 순천대학교 정보통신공학과(moon@urc.kr) ** 교신저자, 조선대학교 제어계측공학과(arcs.luckycharm@gmail.com)

*** 조선대학교 제어계측로봇공학과(nyko@chosun.ac.kr)

****순천대학교 전자공학과(rsh@urc.kr)

*****한국과학기술정보연구원(jkpark@kisti.re.kr)

접수일자 : 2009. 9. 1

심사완료일자 : 2009. 1. 10

계한다. 그리고 화재감지를 위해 A2TPMI(이하열 센서)를 사용하여 데이터를 수신한다. 열 센서에 의해 수신된 데이터는 칼만필터를 사용하여 안정적인 데이터를 획득한다.

본 논문의 구성은 II장에서 화재감지 로봇의 구조에 대해서 나타내었다. III장에서는 칼만 필터에 의한 A2TPMI 데이터 처리를 설명한다. IV장에서는 실험을 통해 일반 검출(이하No filtering)데이터와 칼만 필터링 검출데이터를 나타낸다. 마지막 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 화재감지 로봇의 구조

2.1 제어장치의 구조

로봇의 제어장치의 구조는 그림 1에서 나타내었다. 로봇의 메인 컨트롤러는 ATmega128, 로봇을 이동시키기 위한 스텝핑 모터 2대, 센서의 열 검출 Scanning 범위 ($0^{\circ}\sim 180^{\circ}$)를 갖기 위한 서보모터 1대, 장애물 검출을 하기위한 PSD 센서 6개, 불을 감지하기 위한 열 센서, 무선통신을 하기위한 블루투스모듈 사용하고, 최종적으로 로봇에서 획득한 데이터를 보기 위한 PC로 로봇이 구성되어 있다.

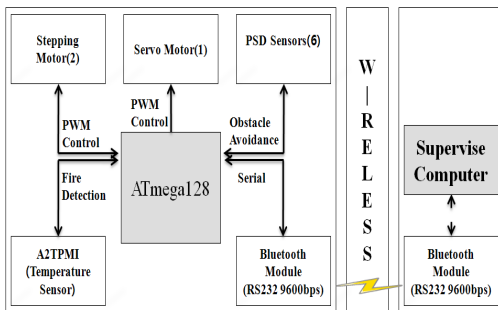


그림 1. 제어장치의 구조
Fig. 1 The structure of control unit

2.2 로봇의 모델링

화재감지 로봇의 모델링을 위해서 3D CAD 프로그램인 Inventor를 사용하여 각각의 구성 요소들을 디자인하였다. 그림 2는 Inventor를 사용하여 디자인한 화재감지 로봇이며, 그림 3은 설계 후 가공하여 조립한 실체사진이다.

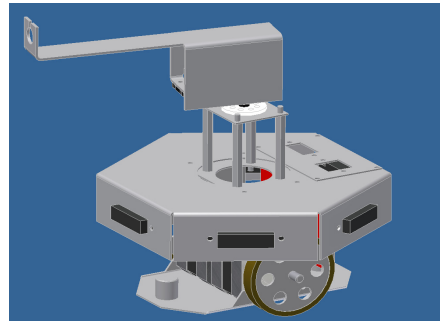


그림2. 화재감지 로봇의 설계
Fig. 2 Design of the mobile robot for fire detection

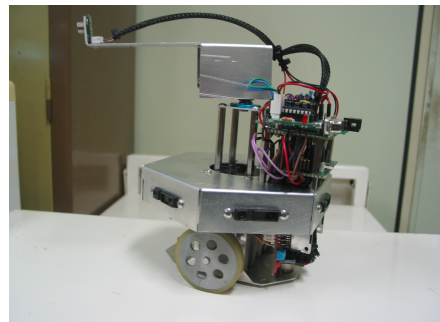


그림3. 화재감지 로봇의 실체사진
Fig. 3 Picture of the mobile robot for fire detection

2.3 PSD 센서

로봇이 물체회피를 하기 위해서 6개의 PSD센서를 사용하였다. PSD 검출거리는 $10\sim 80\text{cm}$ 이고, 사이의

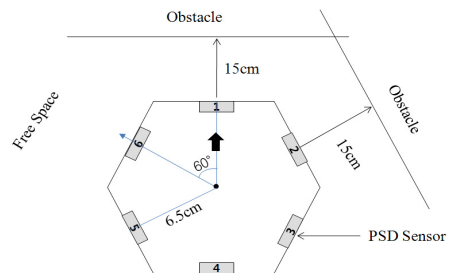


그림 4. PSD센서의 배치 구조
Fig. 4 The arrangement of PSD sensor

각도는 60° 이다. 물체감지 방법으로 로봇과 물체사이의 거리가 15cm 이내에 들어오면 물체를 회피하는 시스템이다. 위의 그림 4는 PSD센서의 배치 구조를

나타내고 있다[5].

2.3 A2TPMI 센서

화재감지를 위해서 열 센서인 A2TPMI를 사용한다. 센서의 공급 전압은 4.5V ~ 5.1V, 센서의 출력 전압은 0.25V ~ (Vcc - 0.25V)이다. 센서의 응답시간은 일반적으로 90ms이며 최대 150ms이다. 광축은 $2^\circ \pm 2^\circ$, 일반적으로 7° , 최대 12° 의 검출 범위를 가지고 있다. 그림 5는 열 센서 렌즈의 검출 범위를 나타내고 있다.

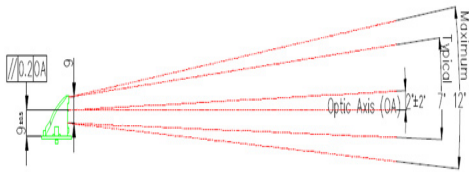


그림 5. 열 센서인 A2TPMI의 검출 범위
Fig. 5 The detection range of A2TPMI sensor

그림 6는 서보모터를 사용한 열 센서의 Scanning 범위를 보여준다.

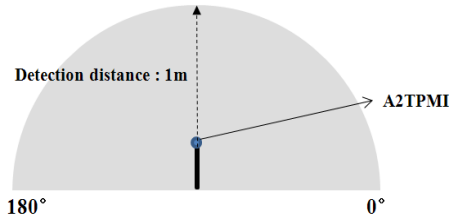


그림 6. 열 검출 scanning 범위 (0°~180°)
Fig. 6 The scanning range of fire detection(0°~180°)

열 스캔 센서의 열 검출 Scanning 범위를 0°~180°까지이고, A2TPMI센서의 열 검출 범위는 1m로 하였다.

III. 칼만 필터에 의한 A2TPM 데이터 처리

3.1 칼만 필터(Kalman Filter)

대표적인 IIR(Infinite response filter)로 반복적인 방

법을 이용하는 방법으로 특징을 살펴보면 다음과 같다. 이산-데이터 선형 필터링 문제에 대한 반복적인 해를 해석하기 위한 방법으로 최소 자승법의 효율적인 계산(반복적) 해를 제공하는 5개의 수학적 방정식의 집합, 과거, 현재, 그리고 미래 상태의 평가 및 추정을 제공, 시스템의 정밀한 성질이 알려지지 않을 때도 사용 가능하고 디지털 노이즈 제거 및 계산의 발전으로 자율 주행 분야에서 광범위한 연구와 응용에 사용된다[6][7].

3.2 칼만 필터 방정식

칼만 필터 방정식은 크게 수식 1과 같이 시간 갱신 방정식(Time update equation)과 수식 2의 측정 갱신 방정식(Measurement update equation)으로 나뉜다.

식(1)은 다음과 같다.

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (1)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$$

식(2)은 다음과 같다.

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (2)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^-$$

3.3 칼만 필터 방정식의 용어 정리

칼만 필터 방정식의 용어 정리는 다음과 같다. $\hat{x}_k^- \in R^n$ 는 전 상태 추정의 예측 값, $\hat{x}_k \in R^n$ 는 후 상태 추정의 확정 값, $e_k^- \equiv x_k - \hat{x}_k^-$ 는 전 상태 추정 에러의 예측 값, $e_k \equiv x_k - \hat{x}_k$ 는 후 상태 추정 에러, $P_k^- \equiv E[e_k^- e_k^{-T}]$ 는 전 상태 추정 에러의 공분산(Covariance)의 예측 값, $P_k \equiv E[e_k e_k^T]$ 는 후 상태 추정 에러의 공분산, $\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$ 는 측정 업데이트 방정식(실제 추정치), A 는 과정 시스템, B 는 시스템 입력, Q 는 프로세스 잡음, R 은 측정 잡음,

K 는 칼만 게인, z_k 는 측정된 값(센서 데이터 값)을 나타낸다.

3.4 칼만 필터 방정식의 계산 순서

칼만 필터 방정식의 계산 순서의 흐름은 “예측(Predict)”과 “정정(Correct)”을 계속 반복 수행한다. 다음은 칼만 필터 방정식의 계산 순서를 나타내고 있다[6][8].

i). 1단계: 초기값 설정

- H, R, \hat{x}, P_0

ii). 2단계: 추정 예측 값 계산(예측)

- $\hat{x}_1^- = A\hat{x}_0 + Bu$

- $P_1^- = AP_0 + A^T$

iii). 3단계: 추정 값 설정(정정)

- $K_1 = P_1^- H^T [HP_1^- H^T + R]^{-1}$

- $\hat{x}_1 = \hat{x}_1^- + K_1 [z_1 - H\hat{x}_1^-]$

- $P_1 = P_1^- - K_1 HP_1^-$

iv). 위의 2단계에 $0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2$ 로 치환하여 반복 계산한다.

칼만 필터 방정식의 계산에서 공분산이 최소로 되는 이득 설정이 중요하며, 에러 공분산이 작아져야 안정된다.

IV. 실험 및 고찰

그림 7은 센서가 고정된 위치만을 검출했을 때 일반 검출 데이터와 칼만 필터링 검출 데이터를 보여주고 있다.

파랑색 선은 일반 검출 데이터 그래프이며 빨강색 선은 칼만 필터링 이후의 검출 데이터 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 고정된 위치에서 일반 검출을

할 경우에 많은 노이즈가 발생하는 것을 볼 수 있다. 반면에 칼만 필터링 검출 데이터는 안정적인 것을 볼 수 있다.

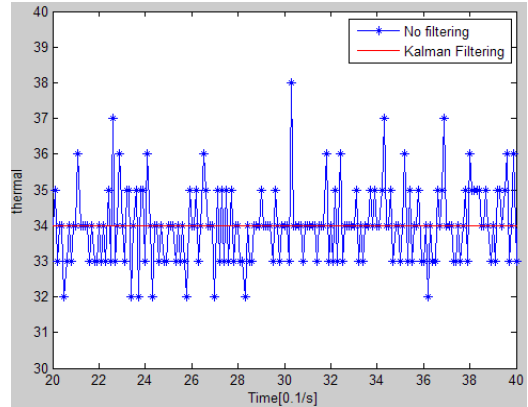


그림 7. 고정된 위치의 검출 데이터 그래프
Fig. 7 Detection data graph of Fixed location

그림 8은 개방된 환경에서 Scanning하여 검출한 데이터 그래프를 나타낸다. 그림 8에서는 그림 7과 비교하였을 때 유사한 검출 결과를 보이고 있지만 개방된 환경에서 실험을 하였기 때문에 열 변화에는 차이점이 있다.

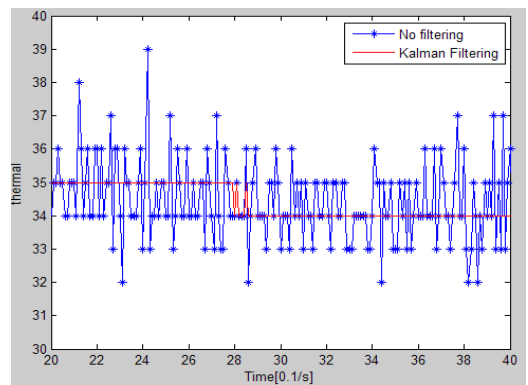


그림 8. Scanning 검출 데이터 그래프
Fig. 8 Scanning detection data graph

그림 9에서는 실제로 개방된 환경에서 열 센서가 스캐닝하면서 불을 검출한 그래프이다. 일반 검출 데이터 그래프에서 볼 수 있듯이 데이터를 검출할 경우 레퍼

런스 전압의 문제, 시스템 전압의 흔들림 등으로 인하여 노이즈가 발생하는 것을 알 수 있다. 그로 인하여 오동작을 하거나 화재 감지를 못하는 문제점이 있었다. 반면에 칼만 필터링 이후의 데이터 그래프는 안정적인 것을 볼 수 있다. 실제로 칼만 필터링을 사용하여 데이터를 검출했을 때 정확히 불을 감지 할 수 있었다.

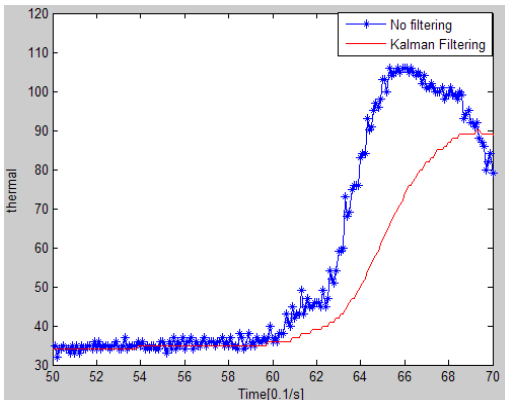


그림 9. 열 검출 데이터 그래프
Fig. 9 Fire detection data graph

표 1에서는 그림 9에서 검출한 데이터를 비교하여 나타낸다.

표 1. 열 검출 데이터 비교
Table 1. Fire detection data comparison

검출 방법	최소	최대
칼만 필터링 이후 검출	34°C	90°C
일반 검출	31°C	106°C

V. 결 론

본 논문에서는 자율이동하며 화재조기 발견 및 조치를 위한 센싱 및 처리 기능을 가진 로봇을 설계와 신호 처리에 대하여 설명하였다. 화재감지를 위해 열 스캔 센서를 사용하였다. 안정된 화재 검출을 위해서 AD컨버터와 칼만 필터를 사용하였고 그 결과를 그림 7, 8, 9에서 보였다.

향후에는 여러 가지 센서를 사용하여 안정적이고

정확한 검출 및 화재에 대응한 로봇의 자율주행에 대해서 연구할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임. This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

참고 문헌

- [1] 이홍철, 김태형, 황인주, "다센서 이용 화재감지 및 추론시스템 구축연구(I)", 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, pp.133, 2003.
- [2] 이정일, 이근태, "초고층 빌딩의 화재 피해 최소화 방안에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, 제23권 제4호, 2009
- [3] 최규출, "고층빌딩에서 옥외피난계단의 효용성에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, 제23권 제1호, 2009
- [4] 김문상 외 35명, "차세대 지능로봇 핵심 기술", 인간로봇 기술개발사업단, 2006. 03
- [5] Chien, T.L. Guo, H. Su, K.L. and Shiau, S.V. "Develop a Multiple Interface Based Fire Fighting Robot", ICM2007 4th IEEE International Conference on Mechatronics, pp. 1-6, May 2007
- [6] Greg, W. and Bishop, G. An Introduction to the Kalman Filter, Department of Computer Science, July 2006.
- [7] Brown, R.G. and Patrick, Y.C. Introduction to random signals and applied kalman filtering third edition, John wiley & Sons, 1997
- [8] Sangpetchsong, K. Introduction to Unscented Kalman Filtering, <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/24917-introduction-to-unscented-kalman-filtering>

저자 소개



문용선(Yong-seon Moon)

1983년 2월 : 조선대학교 전자공학
학과(공학사)

1989년 2월 : 조선대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1992년 ~ 현재 : 순천대학교 정보통신공학부교수

※ 주 관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 제어



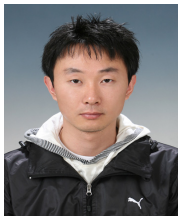
박종규(Jongkyu Park)

1984년 2월 : 중앙대학교 전자공
학과(공학사)

19908년 2월 : 중앙대학교 전자공
학과(공학석사)

1991년 ~ 현재 : 한국과학기술 정보연구원 선임연
구원

※ 주 관심분야 : 정보처리, 비선형 시스템, 로봇



서영남(Young-nam Seo)

2009 2월 : 조선대학교 제어계측
공학과(공학사)

2009 ~ 현재 : 조선대학교 대학
원 제어계측공학과 석사과정

※ 주 관심분야 : Robotics, Microprocessor



고낙용(Nak-yong Ko)

1985 서울대학교 제어계측공학과
(공학사)

1987 서울대학교 대학원 제어계
측공학과(공학석사)

1993 서울대학교 대학원 제어계측공학과(공학박사)

1997~1998, 2004~2005 미국 Carnegie Mellon Univ.

Visiting research scientist

1992년 ~ 현재 : 조선대학교 제어계측로봇공학과
교수

※ 주 관심분야 : Robotics, AI, Microprocessor



노상현(Sang-hyun Roh)

2007년 2월 : 순천대학교 전자공
학과(공학사)

2009년 2월 : 순천대학교 전자공
학과(공학석사)

2009년 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과(공학박사
재학 중)

※ 주 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업통신망