'88 韓國自動制御學術會議論文集 1988. 10. 21~22

열특성을 이용한 물체 인식 센서의 구현

박 귀 배*, 임 영 철**, 정 우 남**, 조 경 영**, 조 진 영***
* 고려 대학교 ** 전남 대학교 *** 호남 대학교

Implementation of Recognition Sensor Using Thermal Properties of Object

Gui T. Park,* Young C. Lim,** Woo N. Juhng,** Kyeung Y. Cho,** Jin Y. Cho***
* Korea University ** Chonnam National University *** Honam University

Abstract

In this paper, we describe a novel robot sensor designed to measure some of the thermal properties of a gripped object. The thermal conductivity of the object can be calculated by the proposed method. And the thermal sensor response enables robot system to discriminate between objects made of different materials.

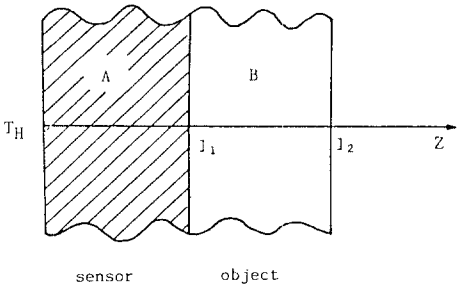
1. 서 론

오늘날 생산성 향상을 위해 다양한 산업용 로보트가 개발및 이용되고 있다. 그러나 대부분의 산업용 로보트는 일을 수행하기 위해 필요한 환경에 대한 정보가 미흡하였다. 로보트에 여러가지 센서장치를 부착하면 다루는 물체의 변화에도 적응할 수 있고 품질관리를 하거나 예상치 못한 위험한 상황을 피할 수도 있어서 사전정보가 없는 물체를 인식하고 다룰수 있게 된다. [1][2] 여러가지 센서중 특히 접촉 센서는 주로 힘 또는 압력등을 감지하거나 형체를 알아내는데 사용되어 왔다. 그러나 같은 형태를 갖고 재질이 다른 물체를 구분하는 센서에 대해서는 연구가 미흡한 현실이다. 따라서 본 논문에서는 물체의 열전도 특성을 감지하여 물체를 인식하는 센서에 대해 연구 하였다. 열원으로 부터 미지의 물체로 흐르는 열전달의 경우 한점에서의 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 그리고 온도를 측정하는 능동 센서를 설계하였으며 마이크로 컴퓨터에 기억된 온도변화 특성 곡선과 비교하여 물체의 재질을 식별하는 시스템을 개발하였다.

2. 열 전 도 와 물 체 식 별

1) 비정상 열전도 경우 열전도도 계산에의한 물체식별

열전도도에 의한 물체 식별을 위하여 센서와 물체는 그림 1 과 같이 평판 (infinite plate) 과 반무한 고체 (semi-infinite solid) 로 가정하고 두물체의



그 림 1. 센서와 물체의 1 차원 모형
Fig 1. The one dimensional model of sensor and object

경계면에서 접촉 열저항을 무시하면 이 경우는 복합매체 (composite media) 의 비정상 열전도 문제이며 열전도 방정식과 경계조건은

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial \tau} \qquad (1)$$

$$T_A(0,\tau) = T_H$$

$$T_A(z,0) = T_H - \frac{T_H - T_{10}}{l_1} z \qquad 0 < z < l_1$$

$$T_A(l_1,\tau) = T_B(l_1,\tau)$$

$$T_B(z,0) = T_O$$

$$T_B(l_1,\tau) = T_O$$

이다. 단 K : 열전도도, ρ : 밀도, c : 비열, $\alpha = K/(\rho c)$: 확산계수, T_{10}: $\tau = 0$ $z = l_1$ 에서의 온도 T_H: 발열부 온도

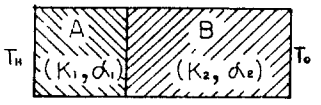
위 미분 방정식 해의 형태는

$$T_A(z,t) = (SS)_A + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(S_{nA} z) e^{-S_{nA}^2 \alpha_B t} \qquad (2)$$

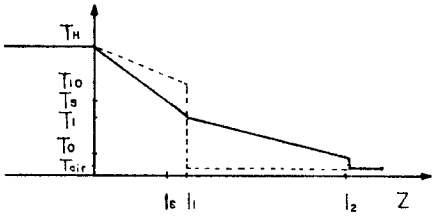
$$T_B(z,t) = (SS)_B + \sum_{n=1}^{\infty} A_n C_n \sin(S_{nB}(l_1 + l_2 - z)) e^{-S_{nA}^2 \alpha_B t}$$

이다. 여기서 $(SS)_A$ 와 $(SS)_B$ 는 센서와 물체의 정상상태 열전도 방정식의 해이며 An, Cn, S_{nA}, S_{nB}는 경계조건에 의해 결정되는 양이다. 해는 시간에대해 단조감소의 경향을 갖는 진폭의 공간에 대한 조화함수의 합으로 나타난다. $S_{nA}^2\alpha_A$와 $S_{nB}^2\alpha_B$를 통해K_B를 구하고 그로부터 z = ls, t = τ 에서의 온도를 측정하여 열전도도 K_B를 구할 수 있으나 해의 형태로 보아 계산되기 어려우므로 해에서 지배적인 n = 1 일때의 항만을 이용할 수 있을 것이다.

2) 정상 열전도 경우의 열전도 계산에 의한 물체식별



(a)



(b)

---- : initial temperature distributionΔ

—— : equilibrium temperature distributionΔ

그 림 2 (a) 1 차 원 모 형

(b) 온 도 분 포

Fig 2 (a) one dimensional model

(b) temperature distribution

센서의 한쪽면을 T_H로 유지하고 다른면을 대기중에 노출하면 0 < z < l1 에서 Fig 2 (b) 의 점선과 같은 온도 분포를 갖는다. 센서와 물체를 접촉하고 물체의 한면 (z = 12) 을 To로 하면 평형상태에서 온도분포는

$$T(l_s,\infty) = T_H - \frac{(T_H - T_0)\cdot l_s}{(l_1 + \frac{K_1}{K_2} l_2)} \qquad (3)$$

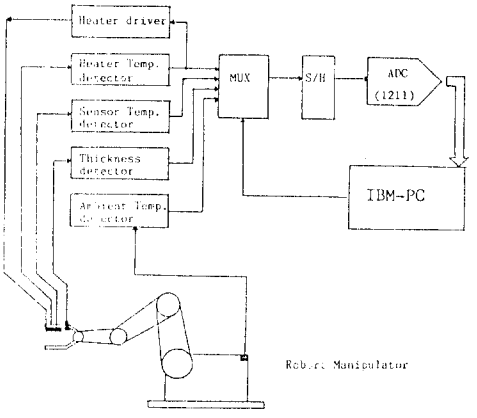
이다. 따라서 z = ls 에서 온도를 측정하면 K2 를 구할 수 있고 물체를 식별할 수 있다. 그러나 평형상태에 도달하는데 많은 시간을 필요로 하는 단점이 있다.

3) 특성곡선 비교에 의한 물체식별

온도센서를 갖는 물체 A 의 한쪽면을 T_H 로 하고 다른면을 대기에 노출 시킨 후 피측정체와 접촉시켜 물체 A의 z = ls 에서의 시간에 따른 온도변화를 미리 컴퓨터에 입력하고 측정값과 비교하여 물체를 식별한다.

3. 하 드 웨 어 구 성

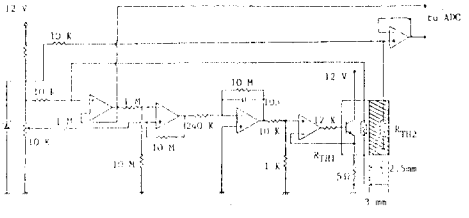
본 시스템은 그림 3 과 같이 로보트 손에 부착된 몇가지 센서와 A/D 변환기및 IBM PC-XT 로 구성되어 있다.



그 림 3. 하 드 웨 어 구 성

Fig 3. Hardware configuration

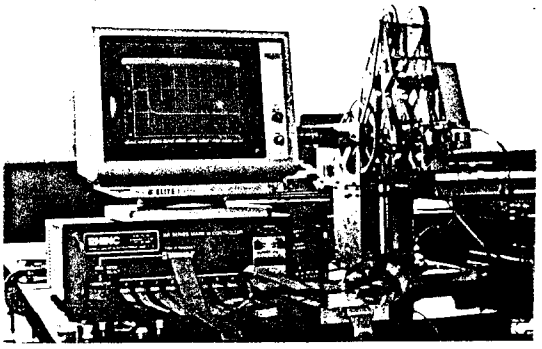
물체의 두께를 측정하기 위하여 직선형 포텐쇼 미터를 로보트 손에 부착하여 물체를 쥘때 두께에 관한 정보가 컴퓨터에 입력되도록 하였다. 또 대기온도를 측정하는 더미스터는 발열부와 멀리 떨어진 곳에 설치하였다. 본 논문에서 제안된 센서는 발열부와 측온부로 구성되는데 구체적인 회로는 그림4 와 같다.



그 림 4. 센 서 의 회 로 도

Fig 4. Circuit diagram of the sensor

발열부는 트랜지스터 2SC1212 표면에 더미스터 (TH1)을 부착시키고 가변저항으로 설정된 전압과 더미스터의 단자전압을 비교하므로서 트랜지스터 전류를 제어하여 일정온도를 유지하도록 하였다.[4] 측온부는 발열 트랜지스터에 부착된 3 ㎜ 두께의 실리콘 고무의 표면에서 안쪽으로 0.5 ㎜ 위치에 삽입된 또하나의 더미스터 (TH2) 로 구성된다. 각 더미스터의 단자전압을 측정하고 A/D 변환기로 변환하여 컴퓨터에서 온도로 환산한다. 실제 구성된 실험장치는 그림 5 와 같다.



그 림 5. 실 험 장 치
F i g 5. Experimental apparatus

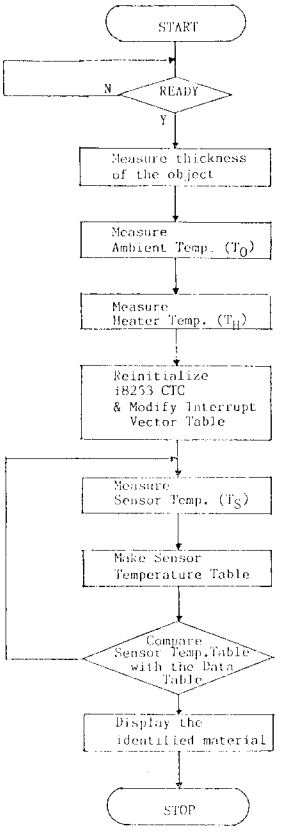
4. 소 프 트 웨 어 구 성

소프트웨어는 C 언어와 8086/8088 어셈블리어를 사용하였고 몇개의 모듈로 구성되어 있으며 그 흐름선도는 그림 6 과 같다.

로보트 손이 물체를 쥐면 직선형 포텐쇼 미터를 이용하여 두께 (12) 를 측정한 다음 대기온도 (T0) 값과 발열부의 온도 (TH) 값을 읽어 메모리에 저장한다. 그리고 일정한 시간 간격으로 인터럽트를 발생시키기 위해 컴퓨터의 클럭으로 사용되는 18253 타이머를 초기화 시키고 인터럽트 벡터를 수정한다. 그리고 인터럽트 발생시 센서에 부착된 더미스터 단자전압을 읽어 이 값을 온도로 환산하고 1 초 간격으로 온도곡선을 작성한다. 온도표 작성중 과도적인 온도변화 부분에서 특징하게 설정된 시점의 온도를 측정하여 미리 작성된 물체별 온도 특성곡선과 비교하여 물체를 구별한다.

5. 실 험 결 과 및 고 찰

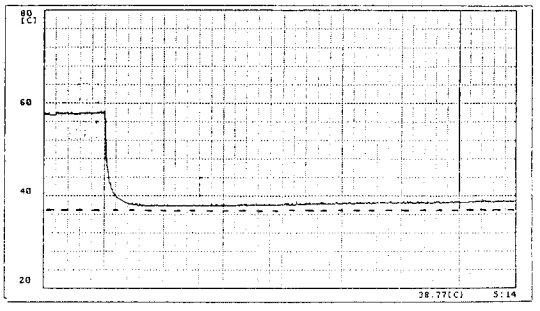
그림 7 에 직경 30 ㎜, 두께 12 ㎜ 인 피측정체에 센서부를 접촉하였을때 z = 1s 에서의 시간에따른 온도 변화가 나타나 있다. 점선은 식 (3) 에의해 계산된 z = 1s 에서의 평형 온도이다. 알루미늄의 온도변화는 평형온도보다 높은 온도 범위에서



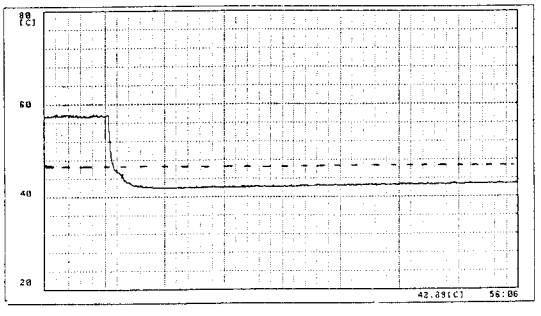
그 림 6. 소 프 트 웨 어 흐 름 선 도
F i g 6. Software flow chart

단조감소의 형태이고, 유리의 경우는 평형온도 이하로 감소한 후 초기온도보다 낮은 평형온도에 도달하며 왁스는 평형온도보다 낮은 온도 범위에서 감소한 후 초기온도 이상의 평형온도에 도달한다. 이것은 알루미늄의 열저항 (Rth = 12 / K) 이 적고 유리와 왁스는 열저항이 크기 때문에 단열재로 작용하여 센서를 갖는 물체 센서부에서의 열유속을 적게하기 때문이다. 세물체 모두 접촉 후의 온도강하는 열용량과 관계 된다고 볼 수 있다.

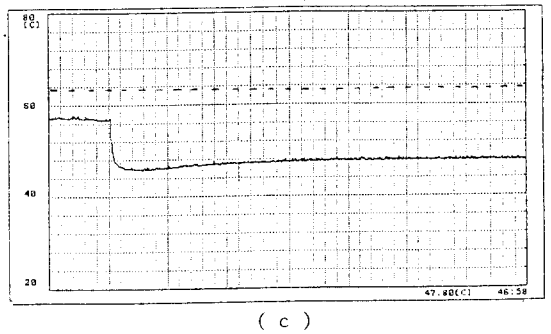
그림 8 은 직경 30 ㎜ 인 알루미늄의 두께를 변화함에 따라 센서의 온도를 나타낸 것이다. 두께가 8 ㎜ 인 경우는 적은 열저항을 갖는 알루미늄에 비해 주위의 열저항이 크기때문에 열유속을 곧 감소시킴으로 시간의 경과에 따라 센서의 온도가 증가하고 두께 20 ㎜ 인 경우는 시간의 경과에 따라 센서의 온도증가가 상대적으로 적다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 재질 변화에 따른 센서응답 (10 sec/div)

(a) 알 루 미 늄 직경 30㎜, 두께 12㎜

(b) 파이렉스 유리 직경 30㎜, 두께 12㎜

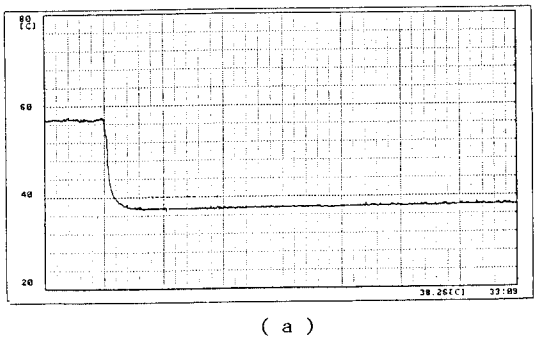
(c) 파 라 핀 왁스 직경 30㎜, 두께 12㎜

Fig 7 Sensor responses for various materials (10 sec/div)

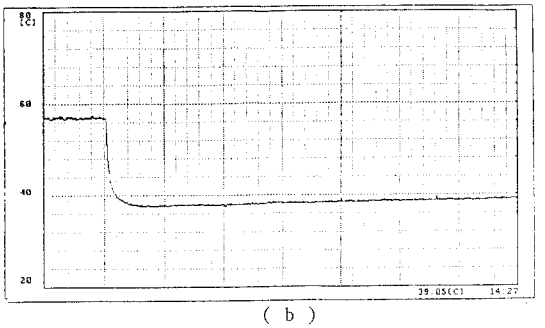
(a) Aluminum diameter 30㎜, thickness 12㎜

(b) Pyrex glass diameter 30㎜, thickness 12㎜

(c) Paraffin wax diameter 30㎜, thickness 12㎜



(a)



(b)

그림 8 알루미늄의 두께 변화에 따른 센서응답 (10 sec/div)

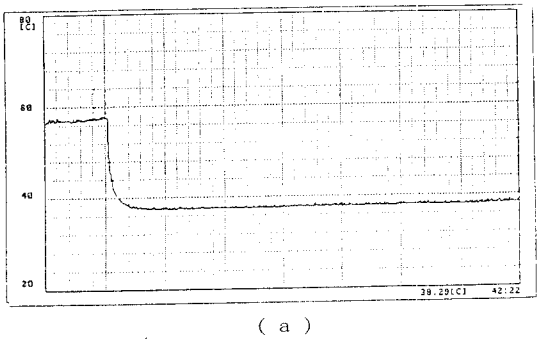
(a) 알 루 미 늄 직경 30㎜, 두께 20㎜

(b) .. 직경 30㎜, 두께 8㎜

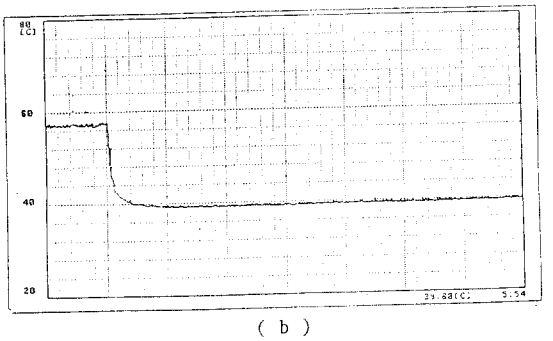
Fig 8 Sensor responses with the various thickness of the aluminum (10 sec/div)

(a) Aluminum diameter 30㎜, thickness 20㎜

(b) .. diameter 30㎜, thickness 8㎜



(a)



(b)

그림 9 알루미늄의 단면적 변화에 따른 센서응답 (10 sec/div)

(a) 알 루 미 늄 직경 45㎜, 두께 12㎜

(b) .. 직경 20㎜, 두께 12㎜

Fig 9 Sensor responses with the various cross section area of the aluminum (10sec/div)

(a) Aluminum diameter 45㎜, thickness 12㎜

(b) .. diameter 20㎜, thickness 12㎜

그림 9 은 두께 12 ㎜ 인 알루미늄의 직경을 변화함에 따라 센서의 온도를 나타낸 것이다 . 직경이 작은 경우 열저항이 알루미늄보다 상대적으로 큰 주위의 공기가 단열재로 작용할 뿐 아니라 센서를 갖는 고온부 면적과 거의 같은 면적이며 열용량 (ρcV) 이 작기 때문이다 .

6 . 결 론

본 논문에서는 이상과 같이 열특성을 이용한 물체 식별 센서에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다 .

1) 마이크로 컴퓨터에 기억된 센서의 온도변화와 측정된 온도변화를 비교하여 물체의 재질을 신속하게 식별할 수 있었다 .
2) 비정상 열전도 관계식을 유도하여 물체의 열전도도를 구할 수 있다 .
3) 센서의 온도변화와 물체의 두께관계는 과도적인 부분에서는 두께와 무관하며 정상상태에서 두께가 얇을수록 상승하는 현상을 알 수 있었다 .
4) 센서의 온도변화와 물체의 단면적 관계는 센서의 면적과 물체 단면적의 비가 작을수록 영향이 없고, 그 비가 1 에 가까울 때는 오차를 유발함을 알 수 있었다 .
5) 온도변화를 측정하는 능동 센서를 설계하므로서 미지의 물체와 접촉한 후의 시간적 온도변화를 구할 수 있었다 .

7 . 참 고 문 헌

1) Alan Pugh, " Robot Sensors - A Personal View ", 1985 ICAR, pp. 521-532, Sep. 1985.

2) R. Masuda and K. Hasegawa, " A Design Approch to Total Sensory Robot Control", Sensor Review, pp. 20-24, Jan. 1982.

3) C. W. Tittle, " Boundary value problems in complex media: Quasi - orthogonal functions", J. App. Phys. Vol.36, pp. 1486-1488, 1965.

4) D. M. Considine , Process Instruments and Controls Handbook 3rd ed., pp. 2.62 - 2.67 , McGraw Hill, 1985.