

Fuzzy 이론을 이용한 디지털 온도계측 시스템의 구현

강문성* · *홍성훈**
청주대학교 전자공학과

Implementation of Temperature Measurement System Using Fuzzy Theory

Kang Moon-Sung, Hong Sung-Hun
Dept. of Electronic Engineering, Chongju Univ.

Abstract - Measurement errors in a temperature measurement system are mainly due to the consisting elements' accuracies and the circuit parameters' changes following the environment variations such as temperature. Further, system's non-linearity makes the measurement accuracy worse, and accordingly a linearization method should be considered to avoid this worsening. In this study, an error-correction method and a linearization method are proposed and a system utilizing these methods is realized.

절감을 이룰 수 있으며, 하드웨어적으로 간결하도록 A/D 변환기 대신 V/F 변환회로를 사용하였다. 이때 V/F 변환 과정과 A/D 변환을 위한 양자화 과정에서 발생하는 비선형특성을 선형화하기 위한 방법을 제안하였다^{[2][3][5]}. 또한 주위 환경변화, 특히 온도 변화등에 의한 회로소자의 특성변화로 발생하는 오차를 보정하기 위하여 4개의 기준온도에 대한 센서의 표준저항치들로 기준값을 선정, Multiplexer를 사용하여 선택적으로 기준값 및 센서로부터의 온도를 입력받아 주위환경변화로 인한 오차를 판별, 보정하도록 하였다.

1. 서 론

최적의 시스템 제어를 위해서는 고속, 고정밀도의 특성을 갖는 계측회로가 필수적이다. 그러나 계측회로에서는 기대와는 달리 많은 오차가 발생됨으로서 계측정밀도가 저하하여 제어시스템의 제어 성능을 충분히 발휘하지 못하는 경우가 생긴다^{[1][2][3]}.

이러한 오차는 주위 온도 및 사용된 회로 소자의 특성과 회로 자체의 비선형성으로 인해 발생하는데, 이를 줄이기 위해 가변성이 있고, 온도 변화에 따른 오차의 보정이 가능한 소자를 사용하거나 부가적인 회로를 첨가한다. 또한, 디지털방식의 계측시스템인 경우에는 시스템 Look-up-table을 이용한 선형화방법으로 비선형특성에 의한 계측오차를 저감시켜 계측정밀도를 향상시킬 수 있으나 많은 시스템 메모리 영역이 필요하게 된다^{[3][4]}.

본 논문에서는 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있는 계측장비인 디지털 온도계측시스템에 있어서의 기술한 각종 오차의 보정 방법을 제시하였으며, 제시한 보정방법을 도입하여 계측회로를 설계, 하드웨어를 구축하였다. 실제 온도계측시스템의 구축에 있어서 Pt-100Ω을 센서로 사용하였으며 센서의 저항값을 전압으로 증폭하여 센서의 측정범위인 -200.0 ~ 640.0℃를 1 scale을 0.1℃로 하여 8400 scale 전 범위를 측정 가능토록 하였고, 양산 체제에서 원가

본 논문에서는 기존의 곡선의 적합(Curve-fitting), Lagrange 보간법 및 퍼지이론을 도입한 선형화기법을 이용한 디지털온도계측시스템의 계측 정밀도를 비교, 평가하여 퍼지이론을 도입한 선형화기법에 의한 온도계측방법이 우수함을 입증하고자 하였다.

2. 퍼지이론을 이용한 선형화 기법

전술한 바와 같이 디지털온도계측시스템에 있어서는, 몇 개의 센서저항값과 그에 해당하는 온도값을 기준으로 하고 곡선의 적합 또는 보간법을 이용하여 온도계측을 하게 된다. 여기서 그 기준점 x_{i-1} , x_i , x_{i-1} , x_{i+2} 가 주어졌을 때 $x_{i-1} \leq x \leq x_i$ 의 경우 $f_{i-1}(x)$, $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ 의 경우 $f_i(x)$, $x_{i-1} \leq x \leq x_{i+2}$ 의 경우 $f_{i-1}(x)$ 를 보간함수로 한다. 이 때 $f_i(x)$ 는 $f_{i-1}(x)$, $f_{i+1}(x)$ 에 어느 정도 영향을 받아 결정되는 것으로 가정하고, 이 영향의 정도를 퍼지이론을 도입하여 표현하기로 한다. 이를 위하여 인접한 두 함수로부터의 각도와 거리에 대한 멤버쉽함수를 구하고 선형함수를 이용한 추론법으로 $f_i(x)$ 를 결정한다. 본 장에서는 $f_i(x)$ 의 함수형태에 따라 퍼지-직선함수보간법과 퍼지-곡선함수보간법을 제시한다.

2-1 퍼지-직선함수 보간법

인접한 두점($x_i, f(x_i)$), ($x_{i+1}, f(x_{i+1})$)만에 의해 결정되는 식 $f_i(x)$ 및 θ_i 와 θ_{i+1} 는 각각 다음과 같다.

$$f_i'(x) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) + f(x_i) \quad (2.1)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \right) \quad (2.2)$$

$$\theta_i' = \theta_i - \theta_{i-1} \quad (2.3)$$

$f_i'(x)$ 의 $f_{i-1}(x)$ 와 $f_{i+1}(x)$ 에 의한 영향도를 각각 $L_i(x)$, $L_i''(x)$ 로, θ_i 와 θ_i' 에 의한 영향도를 $L_i(\theta)$, $L_i(\theta')$ 로 표현하고 각각에 대한 멤버쉽 함수를 다음식과 같이 나타낸다.

$$L_i(x) = k_i \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i} \quad (\text{단 } k_i \text{ 는 멤버쉽 함수의 최대 값}) \quad (2.4)$$

$$L_i''(x) = k_i'' \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (\text{단 } k_i'' \text{ 는 멤버쉽 함수의 최대 값}) \quad (2.5)$$

$$L_i(\theta) = |\theta_i| / (\pi/2) \quad (2.6)$$

$$L_i(\theta') = |\theta_i'| / \pi \quad (2.7)$$

각각의 영향도에 대한 멤버쉽 함수를 이용하면 구간별 보간함수는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{i-1}(x) = L_{i-1}(x) \cdot f_{i-1}(x) + (1 - L_{i-1}(x)) \cdot f_{i-1}(x) \quad (\text{단 } x_{i-1} \leq x \leq x_i)$$

$$f_i(x) = \frac{1}{2} \{ L_i(x) \cdot f_{i-1}(x) + (1 - L_i(x)) \cdot f_i(x) + L_i''(x) \cdot f_{i+1}(x) + (1 - L_i''(x)) \cdot f_i(x) \} \quad (\text{단 } x_i \leq x \leq x_{i+1}) \quad (2.8)$$

$$f_{i+1}(x) = L_{i+1}(x) \cdot f_{i+1}(x) + (1 - L_{i+1}(x)) \cdot f_{i+1}(x) \quad (\text{단 } x_{i+1} \leq x \leq x_{i+2})$$

단 여기서,

$$L_i(x) = (L_i(\theta) + L_i(\theta')) / 2 \cdot L_i'(x) \quad (2.9)$$

$$L_i''(x) = (L_{i+1}(\theta) + L_{i+1}(\theta')) / 2 \cdot L_i''(x) \quad (2.10)$$

2-2 퍼지-곡선함수 보간법

인접한 두점만에 의해 표현되는 함수를

$$f_{i-1}(x) = a_{i-1} e^{b_{i-1}x}, f_i(x) = a_i e^{b_i x}, f_{i+1}(x) = a_{i+1} e^{b_{i+1}x} \quad \text{라고}$$

하고, 함수 $f_i'(x)$ 가 $f_{i-1}(x)$ 와 $f_{i+1}(x)$ 에 의해 영향받는 정도를 각각 식 2.4, 2.5의 멤버쉽 함수로 나타낸다. 그러면 각 구간별 보간함수는 다음식과 같다.

$$f_{i-1}(x) = L_{i-1}(x) f_{i-1}(x) + (1 - L_{i-1}(x)) f_{i-1}(x) \quad (\text{단 } x_{i-1} \leq x \leq x_i)$$

$$f_i(x) = \frac{1}{2} \{ L_i(x) f_{i-1}(x) + (1 - L_i(x)) f_i(x) + L_i''(x) f_{i+1}(x) + (1 - L_i''(x)) f_i(x) \} \quad (\text{단 } x_i \leq x \leq x_{i+1}) \quad (2.11)$$

$$f_{i+1}(x) = L_{i+1}(x) f_{i+1}(x) + (1 - L_{i+1}(x)) f_{i+1}(x) \quad (\text{단 } x_{i+1} \leq x \leq x_{i+2})$$

3. 온도계측시스템의 제작 및 실험

3-1 온도계측시스템의 제작

그림 3-1은 본 연구에서 제작한 실험용 온도계측시스템의 블럭선도를 나타낸다. 4개의 가변저항을 센서의 표준저항값으로 사용한 기준값 1,2,3,4 와 센서의 신호를 Multiplexer를 이용, 순차적으로 입력받아 증폭 및 V/F로 변환하고 μ -processor(8752)에서 주파수를 양자화하여 PC로 전송, PC에서 C-언어를 사

용하여 선형화하며 모니터에 온도값을 표시한다.

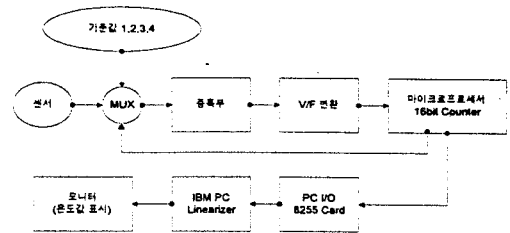


그림 3.1 실험용 온도계측시스템의 블럭선도

센서로서 비교적 선형성이 좋은 pt-100 Ω 를 사용하였으나 V/F변환 및 μ -processor의 계수기능을 이용하여 주파수를 읽어 들이는 과정에서 비선형특성이 나타나게 되며, 이로 인해 계측오차가 발생하게 된다.

3-2 선형화기법의 적용

양자화과정에서 야기되는 비선형특성을 전 계측구간에서 고려하여 기준값 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ 을 선정하게 되는데, 센서가 취할 수 있는 최소값 $-200.0^\circ\text{C}(17.14\Omega)$ 를 x_1 으로 하고 $0^\circ\text{C}(100.00\Omega)$ 를 x_2 , $250.0^\circ\text{C}(195.67\Omega)$ 를 x_3 , 그리고 최대값인 $640.0^\circ\text{C}(330.24\Omega)$ 를 x_4 로 취하여 현재의 온도값이 x_1 이하이거나 x_4 이상일 경우 각각 센서의 단락 및 단선으로 취급하였다. 또한 $y_1 \sim y_4$ 값은 각 기준온도에 대한 양자화값을 나타내는 것으로, 온도계측시의 주위 환경(특히, 주위온도)에 따라 변화할 수 있다. 단, 기준값의 개수를 선정함에 있어서, 선정개수가 과다하면 하드웨어 구성이 복잡하게 되고 또한 비용이 증가하는 문제가 야기되며, 한편 선정개수가 너무 적으면 계측 정밀도가 저하하므로 계측구간에서의 온도 변화특성을 고려하여 4개의 기준값을 선정하였다.

그리고 $x_1 \leq x \leq x_2$ 의 구간에서는 $f_1(x)$, $x_2 \leq x \leq x_3$ 의 구간에서는 $f_2(x)$, $x_3 \leq x \leq x_4$ 의 구간에서는 $f_3(x)$ 를 계측함수로 이용하였다.

또한, 퍼지-직선함수 및 퍼지-곡선함수 보간법에서 이용되는, 각 구간에서 인접한 방정식과의 거리에 의한 영향도의 멤버쉽 함수는,

$$L_1(x) = 0.4 \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, L_2(x) = 0.5 \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2} \\ L_2'(x) = 0.5 \frac{x - x_2}{x_3 - x_2}, L_3(x) = 0.7 \frac{x_4 - x}{x_4 - x_3} \quad (3.1)$$

이며, 상수는 여러번의 실험결과를 토대로 결정한 영향도에 대한 최대 멤버쉽 함수값이다.

3-3 실험 결과

실험은 먼저 기존의 방법에 의한 온도계측기법과 제안한 선형화 방법을 이용한 온도계측기법의 정밀도를 비교, 검토하기 위해 실온 30°C 에서 시행하였다.

그리고 주위온도변화에 따라 발생하는 오차의 보정 결과를 확인하기 위하여 제안한 선형화기법을 채용한, 실험용 온도계측시스템에 대하여 각각 -10℃, 70℃의 주위온도에서 실험을 하였다. 표 3.1은 실험에 사용된 장치를 나타낸다.

표 3.1 실험용 장치

형 명	규 격	비 고
DECADE RESISTANCE BOX	MAX : 1111.210Ω MIN : 0.100Ω	표준 입력장치용 (센서 대응)
IBM PC	INTEL 80386	오차보정 및 측정온도 지시용
I/O CARD	8255	I/O ADDRESS 300-303(HEX) 사용
항온 BOX	500mm×400mm×200mm	70℃ 실험용
온도조절기	-100.0℃~100.0℃ ON/OFF	항온 BOX 제어용
냉장고	180ℓ 냉동실	-10℃ 실험용

그림 3.2~3.5에 나타난 바와 같이 제안된 퍼지이론을 도입한 계측방법이 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있다. 또한 주위온도의 변화에 따라 양자화값에는 상당히 큰 차가 생김에도 불구하고 실온 30℃에서와 비슷한 계측 정밀도를 보임으로서 제안한 방법이 대단히 우수함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는, 온도계측시스템에 있어서 주위 환경 변화에 따른 회로소자의 특성변화로 나타나는 오차를 보정하는 방법과 퍼지이론을 도입한 선형화기법에 의한 온도계측방법을 제안하였으며, 또한 실제 시스템을 설계, 제작하고 실험을 통하여 제안한 방법의 계측정밀도를 평가하였다.

기존의 방법에 의한 계측정밀도와 비교한 결과, 제안된 4개의 기준값 사용과 퍼지이론을 도입한 선형화기법에 의한 온도계측방법이 우수함을 알 수 있었다. 앞으로 단일프로세서에 적용이 가능하도록 software알고리즘의 단순화 및 축소를 위한 연구가 계속되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1]. 오명환의 2인, "정밀 계측 기술의 개발현황", 전기학회지, 제3권 제4호, 4월 1984.
- [2]. "온도측정", 생산기술연구원, 1992.
- [3]. 裴吉鎬, 金桐奎, 蘇成信, 鄭學在, "熱電對", 우진기술연구원, 1990.
- [4]. J.R. YANG, J.T. LUE, "A Microcomputer-Based Programmable Temperature Controller", IEEE Trans Inst. VOL.1M-36, NO.1 March 1987.
- [5]. 김태영, "A-D/D-A 변환 회로의 설계와 응용", 우진출판사, pp105-115, 1989.

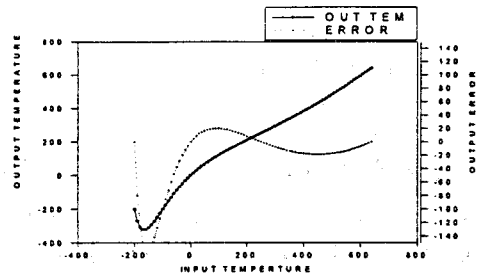


그림 3.2 Lagrange 보간에 의한 계측온도와 오차[30℃ 경우]

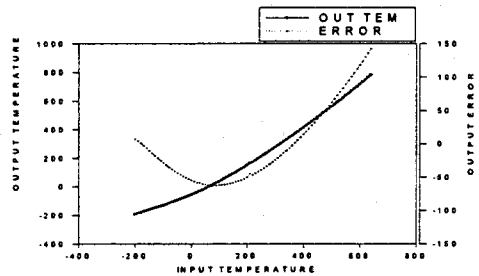


그림 3.3 곡선의 적합에 의한 계측온도와 오차[30℃ 경우]

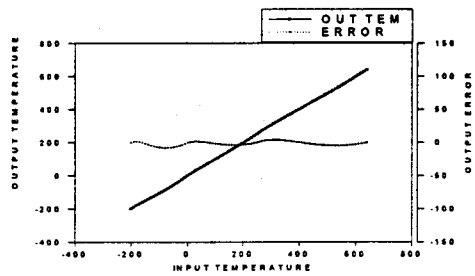


그림 3.4 퍼지-직선함수에 의한 계측온도와 오차[30℃ 경우]

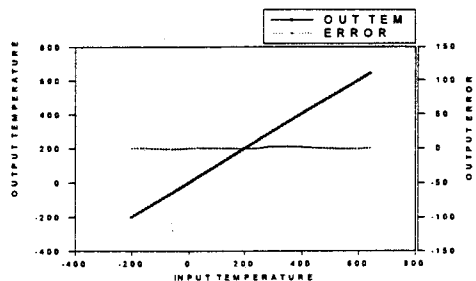


그림 3.5 퍼지-곡선함수에 의한 계측온도와 오차[30℃ 경우]