

패턴 인식 기법의 PLD 칩 설계 및 전자코 활용

장 으뜸, 정 완 영
동서대학교 인터넷공학과
전화 : 051-320-1756 / 핸드폰 : 017-544-4581

Application of electronic nose and PLD chip design using pattern recognition method

Eu-Ttum Jang, Wan-Young Chung
Dept. of Internet Engineering, Dongseo University
E-mail : dortron@orgio.net

Abstract

Application of electronic nose and PLD chip design was developed to be used in gas discrimination system for limited kinds of gas. An array of 4 metal oxide gas sensors with different selectivity patterns were used in order to measure gases. BP(Back Propagation) algorithm was designed and implemented on CPLD of two hundred thousand gate level chips by VHDL language for processing input signals from 4 kinds of gas sensors. This module successfully discriminated 4 kinds of gases and displayed the results on LCD and LED. The developed module could be used for various applications in the field of food process control and alcohol judgment.

I. 서론

많은 분야에서 자동화가 이루어진 오늘날에 있어서도 인간의 코는 냄새의 인식에 중요한 역할을 수행하고 있으나 최근 산업제품과 관련된 가스의 농도 측정이나 음식의 보관, 음식의 제조에 있어서의 그 정도를 객관적으로 표시하기 위하여 다양한 시스템 개발에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그 중에 신경망을 이용한 "electronic nose"(전자코)는 특정냄새를 인식하고 그 농도를 판별하기 위하여 많은 연구진에 의하여 개발되고 있다. 이러한 전자코 시스템은 종류가 다른 가스센서로 구성되는 가스센서 어레이, 신호처리회로, 패턴인

식기법 등을 이용하여 가스의 종류를 판별하고 그 농도의 정도를 측정하는 방식을 채택하고 있으나 대부분 PC환경에서 시스템이 개발되고 있다[1,2].

본 논문에서는 각기 특성이 다른 4종류의 반도체형 가스센서를 이용한 산업용 가스를 판별할 수 있는 초소형시스템을 구현하였다. 4종류의 가스선택성이 다른 가스센서를 입력으로 사용하여 4종류의 가스(CO, CH₄, C₄H₁₀, C₃H₈)를 판별하기 위해 패턴인식기법의 신경회로망을 이용하였다. 4종류 가스의 농도의 변화에 따른 가스센서의 반응도를 입력패턴설정, 신호전처리, 특징추출, 입력신호분류, 분류결정 등의 과정을 통해 가스를 판별이 가능하도록 VHDL 언어를 통해 PLD형태의 단일칩으로 시스템의 기능이 구현되도록 설계하고 이 칩을 활용한 기초적인 휴대가 가능한 소형 전자코 시스템을 제작하였다.

II. 가스실험 및 분석

본 논문에서 4종류의 가스센서는 다양한 가스의 선택성을 고려하기 위하여 일본의 Figaro사의 상용 센서 TGS_813, TGS_821, TGS_822, TGS_842를 사용하였다[3].

2.1 가스센서의 특징 및 실험

본 논문에서 사용한 가스센서의 기본적으로 두 개의 입력전압을 필요로 한다. 히터전압과 회로전압이다. 히터전압은 가스의 입력에 반응하기 위하여 예열의 시간이 필요로 하며 회로전압은 반응값에 따라 전압을 달

리 줄 수 있으나 본 실험에서는 5V로 하였다.

표1은 CO, CH₄, C₄H₁₀, C₃H₈에 대한 4종류의 가스 센서의 반응도이다. VC 전압은 5V이며 로터저항에 의해 전압을 측정하였고, 농도변화에 따른 실험은 100ppm부터 5000ppm까지 측정하였다. 그림 1은 CH₄에 대해 가스농도에 따른 센서의 반응값을 그래프로 나타낸 것이다.

표1. 4종류의 가스센서에 대한 각 센서의 반응값

| Gas_sensors Conc. (ppm) | | TGS_813 | TGS_842 | TGS_821 | TGS_822 |
|----------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 100 | CO | 1.037 | 1.053 | 1.039 | 1.553 |
| | CH ₄ | 1.443 | 1.780 | 1.010 | 1.225 |
| | C ₄ H ₁₀ | 1.451 | 1.752 | 1.002 | 2.010 |
| | C ₃ H ₈ | 1.180 | 1.355 | 1.010 | 1.421 |
| 300 | CO | 1.101 | 1.121 | 1.123 | 1.878 |
| | CH ₄ | 1.785 | 2.259 | 1.017 | 1.836 |
| | C ₄ H ₁₀ | 1.794 | 2.382 | 1.120 | 2.770 |
| | C ₃ H ₈ | 1.542 | 2.050 | 1.001 | 2.451 |
| 5000 | CO | 1.485 | 1.398 | 1.952 | 3.523 |
| | CH ₄ | 2.942 | 3.451 | 1.168 | 2.927 |
| | C ₄ H ₁₀ | 2.962 | 3.914 | 1.103 | 3.673 |
| | C ₃ H ₈ | 2.917 | 3.957 | 1.014 | 3.834 |

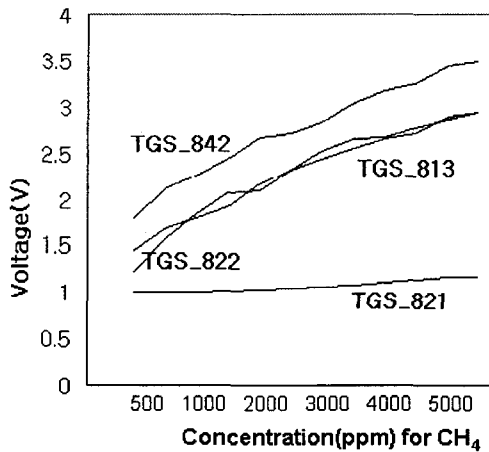


그림 1. 가스농도에 따른 센서의 반응값(CH₄)

III. 뉴런의 구조

3.1 뉴런

우선 본 논문에서 가스인식을 위해서 패턴인식기법을 활용하기로 하고 백프로퍼게이션 기법에 의한 뉴럴집을 설계하였다. 뉴런은 신경세포의 가장 기본적인 단위이다. 일반적으로 뉴런은 정보를 수용하고 동작을 처리해서 결과를 전달한다. 뉴런의 구성은 우선, 4개의 가스센서로부터의 데이터가 A/D 변환기를 통과한다. 8bit 디지털 출력은 각각의 활성화 함수에 대입되어진다. 그리고 A/D 변환기를 통과한 신호는 각각의 y 값이 syn1의 입력이 된다. 이 값이 synaptic weight으로 사용되고 다음 뉴런으로 전달된다. 기본적인 뉴런의 구조는 아래 그림과 같다.

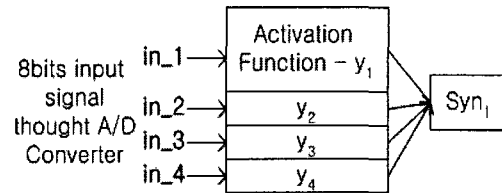


그림 2. 뉴런 구조

3.2 활성화 함수

시그모이드 함수의 근사화를 위한 디지털설계에 적용하는 방법으로는 주로 Look-up 테이블 방식을 사용한다. Look-up 테이블 방식은 주소(address)를 사용하여 각각의 입력에 대한 출력을 메모리에 저장하는 방식으로 단순한 구조를 갖는 장점은 있지만 많은 메모리 면적을 차지하는 단점을 갖는다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 시그모이드 함수를 불연속 선형접근법으로 근사화 하였다. 식 1은 시그모이드 함수에 대한 방정식을 나타낸 것이며, 표 2는 반응값에 대한 구간별 일차함수를 구현한 것이다[4].

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{식 1}$$

표 2. 반응값에 대한 구간별 일차함수

| Condition | Operation |
|-------------------|---------------------|
| $x = 5$ | $y = 1$ |
| $3 < x < 5$ | $y = 0.02 x + 0.9$ |
| $2 < x \leq 3$ | $y = 0.07 x + 0.74$ |
| $1 \leq x \leq 2$ | $y = 0.15 x + 0.59$ |

그림 3은 시그모이드 함수와 선형함수를 비교하였다. 4개의 일차함수와 x의 범위는 4종류의 가스에 대한 특징을 추출할 수 있는 데이터이며 이것은 시냅스의 가중치로서 사용된다. 따라서 하나의 뉴런은 각기 다른 종류의 가스에 대한 가스센서의 반응도를 8bit 10진값으로 변형시킨 값에 의해 구성된다.

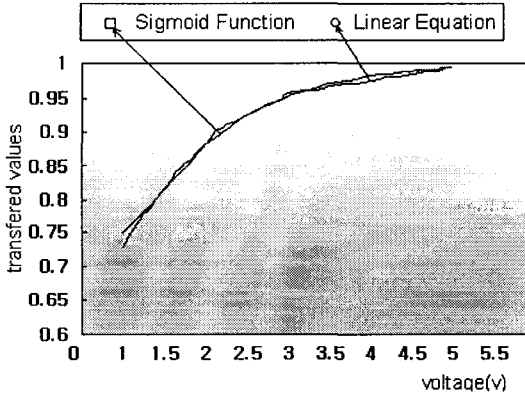


그림 3. 시그모이드 함수와 선형 함수 비교

3.3 CH₄ 적용 예

표 2는 실수값은 나타낸다. 이 값은 본 시스템에 구현하기가 어렵다. 그러므로 정수형으로 변화가 필요하다. 표 3은 정수형으로 나타낸 구간별 일차함수이다. 그리고 이것은 구간별 일차함수에서 데이터 처리 과정을 보여주고 있다. 먼저, 각 x 범위에 따라 반응값이 x에 곱해지고 실수형을 정수형으로 표현하였기 때문에 100으로 다시 나뉘어진다. 그리고 offset 값이 더해짐으로써 하나의 시냅스를 나타나게 된다.

| Condition | Sigmoid Function(TGS813) |
|-----------------------|-------------------------------------|
| $x = 498$ | $y = 100 + 8$ |
| $301 < x \leq 498$ | $y := 2x$ |
| | $y := y / 100$ $y := y + 90 + 8$ |
| $201 < x \leq 301$ | $y := 7x$ |
| | $y := y / 100$ $y := y + 74 + 8$ |
| $100 \leq x \leq 201$ | $y := 15x$ |
| | $y := y / 100$ $y := y + 59 + 8$ |

그림 4. 구간별 일차함수(CH₄)

그림 5는 CH₄의 블록도이다. one_synap_sum 은 4개의 입력을 가지고 이것은 구간별 일차함수를 거쳐 4개의 8bit 출력을 나타낸다. 똑같은 방법으로 CO, C₄H₁₀, C₃H₈ 가스에 대해서도 적용시켰다.

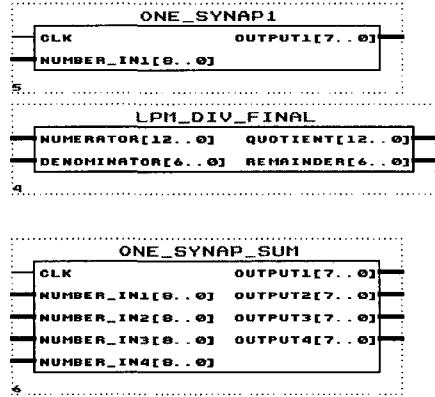


그림 5. CH₄의 블록도

IV. 뉴럴 칩

4.1 신경망 구조

그림 6은 뉴럴 칩의 내부 블록도이다. A/D 변환을 거친 데이터는 synaptic weights가 다른 4개의 one_synap_sum을 가지며 one_synap_sum의 output은 두 번째 시그모이드 함수를 거친다. 이 값은 전처리된 학습 데이터의 목표값과 비교한다. 전처리 데이터는 충분한 학습을 통한 synaptic weights와 offset 값을 포함한다. 입력층은 가스센서로부터 입력신호를 받아 중간층에 전달하며 중간층은 구간별 선형함수를 가지며 가스의 구별하기 위한 정보를 가진다. 출력층은 CO, CH₄, C₄H₁₀, C₃H₈에 대한 목표값을 가지며 오차율을 0.00에서 0.03까지 출력할 수 있게 하였다.

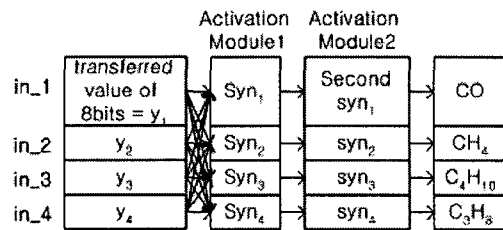


그림 6. 뉴럴 칩 내부 블록도

V. 시뮬레이션과 구현

5.1 시뮬레이션

본 논문에서 사용한 CPLD 칩은 Altera 사의 SRAM 방식의 ACEX EP1K100QC208-3 칩을 사용하였으며 Max+plus II 소프트웨어를 이용하여 VHDL로 코딩하여 그 동작특성을 시뮬레이션 하였다. 사용된 핀은 40핀이며 Logic cell은 67%를 사용하였다[5]. 그림 7은 전자코 구현에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 입력 8bit는 "00110101"이고 Address는 2, 즉 세 번째 가스입력을 말하며, Led_co "011"는 입력가스로부터 CO가 주입되고 있다는 말이며 오차율은 0.02를 나타내고 있다.

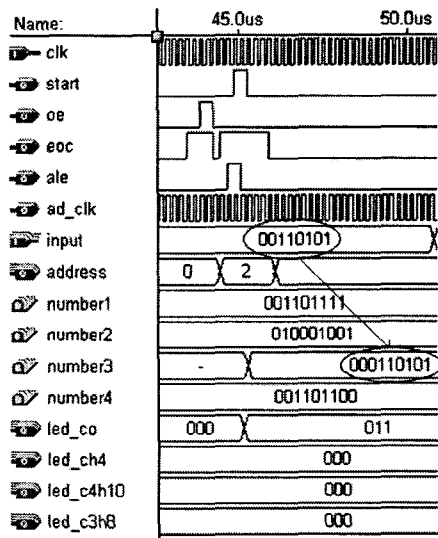


그림 7. 전자코 구현에 대한 시뮬레이션 결과

5.2 전자코 시스템

그림 8은 전자코 시스템을 구현한 것이다. A/D 0804 4개와 4개의 가스센서 그리고 ACEX을 사용하였으며 출력은 가스 구별을 위한 LED와 농도 표시와 오차율을 나타내기 위한 LCD로 구현하였으며 환기를 하여 팬을 설치하였다.

VI. 결론

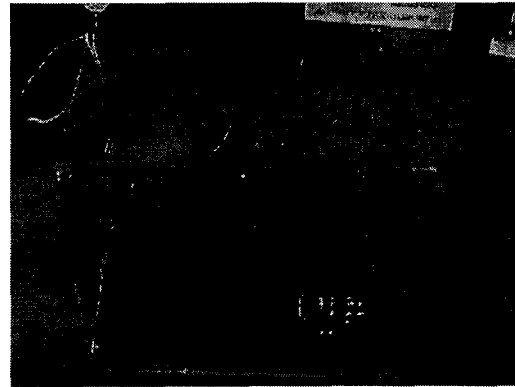


그림 8. 전자코 시스템

신경망의 기본 소자인 뉴런의 활성화 함수를 근사화된 일차함수를 이용하여 구성할 수 있었으며 각 뉴런들을 모듈화하여 신경망칩을 구성하였다. 설계된 신경망칩을 마이크로 가스센서 어레이에 적용하여 입력가스에 대한 결과를 확인할 수 있었다. VHDL에 의해 설계된 신경망칩(CPLD)은 입출력 소자와 더불어 소형 기판으로 제작되었으며 테스트 결과 제한적이거나 가스의 분류가 가능한 것이 확인되었다.

감사의 글

이 논문의 일부는 반도체 설계교육센터(IDEC)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] 홍형기의, "산화물 반도체 가스센서 어레이와 패턴 인식 기술을 이용한 전자코 시스템 제작과 특성", The 6th Conference on Sensor Technology, pp295-299, 1995
- [2] 김대수, "Multilayer Perceptron", 신경망 이론과 응용(I), pp92-110, 1999
- [3] Technical Reference of Figaro Gas Sensor, Figaro Engineering Inc., Japan, 1992
- [4] 이재도외, "Design with Pattern Recognition Neural Network Using VHDL", Proc. 8th Conference Sensor Technology, pp179-183, 2000
- [5] 정완영외, "시스템 설계의 응용", VHDL을 이용한 디지털 회로 설계 및 응용, pp71-81, 2000