

MLP 분류법을 적용한 가스분류기능의 칩 설계 및 응용

장 으뜸, *서용수, 정완영
동서대학교 인터넷공학과, *전자공학과
전화 : 051-327-3768 / 핸드폰 : 017-544-4581

Chip design and application of gas classification function using MLP classification method

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

Abstract

A primitive gas classification system which can classify limited species of gas was designed and simulated. The 'electronic nose' consists of an array of 4 metal oxide gas sensors with different selectivity patterns, signal collecting unit and a signal pattern recognition and decision part in PLD(programmable logic device) chip. Sensor array consists of four commercial, tin oxide based, semiconductor type gas sensors. BP(back propagation) neural networks with MLP(Multilayer Perceptron) structure was designed and implemented on CPLD of fifty thousand gate level chip by VHDL language for processing the input signals from 4 gas sensors and qualification of gases in air. The network contained four input units, one hidden layer with 4 neurons and output with 4 regular neurons. The 'electronic nose' system was successfully classified 4 kinds of industrial gases in computer simulation.

I. 서론

많은 부분에서 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 여러 가지 시스템의 개발에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그 중에 "electronic nose"(전자코)는 이러한 냄새를 인식하고 그 농도를 판별하기 위하여 많은 연구진에 의하여 개발이 되고 있다. 이러한 전자코 시스템은 여러 가지 가스센서로 구성되는 가스센서어레이, 신호처리회로, 패턴 인식기법 등을 이용하여 가스의 종류를 판별하고 그 농도의

정도를 측정하는 방식을 채택하고 있다.

본 논문에서는 4종류의 가스센서(Figaro Co.)를 이용한 산업용 가스를 판별할 수 있는 시스템을 구현하였다. 4종류의 가스선택성이 다른 반도체형 가스센서를 입력으로 사용하여 4종류의 가스(CO, CH₄, H₂, Ethanol)를 판별하기 위해 신경회로망을 이용한 분류 방법으로 MLP(Multilayer Perceptron) 모델을 이용하였다. 4종류 가스의 농도의 변화에 따른 가스센서의 반응도를 입력패턴설정, 신호진처리, 특징추출, 입력신호분류, 분류결정 등의 과정을 통해 가스를 판별이 가능하도록 VHDL 언어를 통해 PLD형태의 단일칩으로 시스템의 기능이 구현되도록 설계하고 이 칩을 활용한 기초적인 전자코 시스템을 제작하였다.

II. 가스센서의 데이터 분석

본 논문에서 4종류의 가스센서는 다양한 가스의 선택성을 고려하기 위하여 일본의 Figaro사의 상용 센서 TGS_109, TGS_203, TGS_813, TGS_842를 사용하였다.

2.1 가스센서의 동작

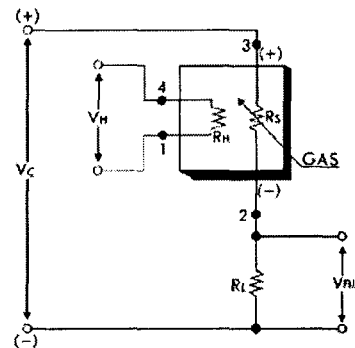


그림 1. 가스센서의 측정 회로도

가스센서의 기본적인 측정회로는 위 그림1과 같다. 사용된 센서는 두 개의 입력전압을 필요로 한다. 히터전압(V_H)과 회로전압(V_C)이다. 히터전압은 최적의 감지를 위한 특정한 온도에서의 반응 요소들을 유지시키기 위해 일정하게 히터부분에 전압을 인가하고 회로전압은 센서와 함께 직렬로 연결되는 로더저항(R_L)을 통해 전압측정(V_{RL})을 측정하기 위해 인가한다.

2.2 실험에 의한 가스센서의 분석

표1은 CO, H₂, CH₄, Ethanol에 대한 4종류의 가스센서의 반응도이다. VC 전압은 5V이며 로더저항에 의해 전압을 측정하였다. 그림 2는 CO에 대해 가스농도에 따른 센서의 반응도를 그래프로 나타낸 것이다.

Gas sensors		TGS_109	TGS_203	TGS_813	TGS_842
Concentration(ppm)					
100	CO	2.16	4.8	1	1
	H ₂	2.27	3.47	2.12	1.17
	CH ₄	2.55	1.19	1.47	2.40
	Ethanol	2.31	1	1.13	1.23
500	CO	2.72	4.96	1.19	1.05
	H ₂	3.125	4.46	3.05	1.62
	CH ₄	3.57	2.78	2.36	2.40
	Ethanol	3.38	1.67	2.12	1.67
5000	CO	3.47	4.989	1.76	1.23
	H ₂	4.07	4.92	4.11	2.66
	CH ₄	4.40	4.58	3.57	3.87
	Ethanol	4.33	4.27	3.57	2.98

표1. 4종류의 가스센서에 대한 각 센서의 반응도

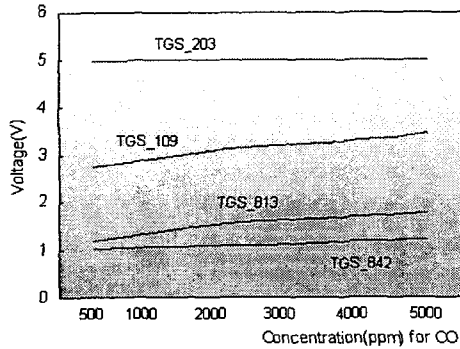


그림 2. 가스농도에 따른 센서의 반응도(CO)

III. 기본적인 신경망 구조

3.1 뉴런

뉴런은 신경세포의 가장 기본적인 단위이다. 일반적으로 뉴런은 정보를 수용하고 동작을 처리해서 결과를 전달한다.

아래 그림 3은 CO에 대한 가스센서의 반응도를 8bit 변형시킨 그래프이다.

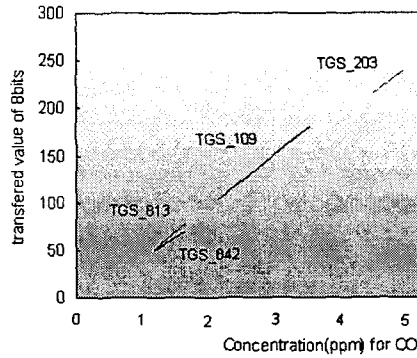


그림 3. 변형시킨 가스센서의 반응도(CO)

$y = ax + b$ (x : 반응도, y : 8bit로 변형시킨 값)

TGS_109 : $y = 51.2x + 1$ ($2.0 \leq x \leq 3.5$)

TGS_203 : $y = 47.6x + 1$ ($4.8 \leq x \leq 5.0$)

TGS_813 : $y = 51.3x + 1$ ($1.0 \leq x \leq 1.8$)

TGS_842 : $y = 52.2x + 1$ ($1.0 \leq x \leq 1.3$)

4개의 일차함수와 x 의 범위는 4종류의 가스에 대한 특징을 추출할 수 있는 데이터이며 이것은 시냅스의 가중치로서 사용된다. 따라서 하나의 뉴런은 각기 다른 종류의 가스에 대한 4종류의 가스센서의 반응도를 8bit 10진값으로 변형시킨 값에 의해 구성된다. 아래 그림 4는 실제로 CPLD 칩에 구현된 뉴런의 블록도이다.

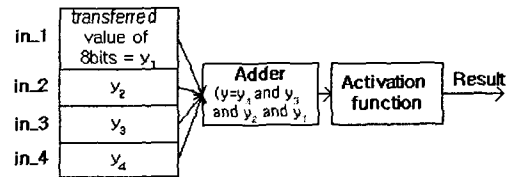


그림 4. 뉴런의 블록도

y_1 은 하나의 일차함수를 나타내고 y_4 and y_3 and y_2 and y_1 으로 총 32bit로 구성되는 adder가 있으며 활성화함수는 흥분과 억제에 각각 결과를 출력하느냐 아니면 오차를 발생하느냐를 말한다. 이러한 기준은 실험에서 나온 데이터가 목표치로서 랜덤 펄스를 만들며, 또한 x 의 범위가 벗어나면 학습을 멈추게 하고 그렇지 않으면 오차를 줄여 나간다. 예를 들어 먼저 x 의 범위는 벗어나지 않고, 1000ppm에서의 TGS_109와 TGS_203는 목표치 출력을 나타내고 TGS_813과 TGS_842는 목표치보다 높게 나타났다고 한다면 TGS_109와 TGS_203의 랜덤 펄스값은 그 값을 유지하고 TGS_813과 TGS_842의 랜덤 펄스값은 목표치에 가깝게 오차를 줄여나가게 하고 최소오차한계가 되면 학습을 멈추며 출력을 나타나게 한다.

IV. 디지털 신경망

4.1 신경망(MLP) 구조

본 시스템에서는 4종류 가스의 농도 변화에 따른 가

MLP 분류법을 적용한 가스분류기능의 칩 설계 및 응용

스센서의 반응도를 입력패턴설정, 신호진처리, 특징추출, 입력신호분류, 가스분류결정 등의 과정을 통해 가스를 분류한다. MLP 분류법은 입력층에 인가되는 트레이닝 데이터 벡터와 출력층에 나타나야 할 목표치 그리고 트레이닝 데이터를 이용하여 처리를 행한다.

MLP 구조에서 모든 입력신호는 입력층에 의해 구성되며 시냅스(synapse)라는 연결소자를 통해 상호연결되는데 시냅스는 들어온 정보에 대해 흥분성 또는 억제성 신호를 다음 세포에 전달하기 때문에 이러한 구성은 디지털 신경망에서의 중간층으로서의 역할을 한다.

아래 그림 5는 입력층, 중간층, 출력층으로 구성된 신경망 구조이다.

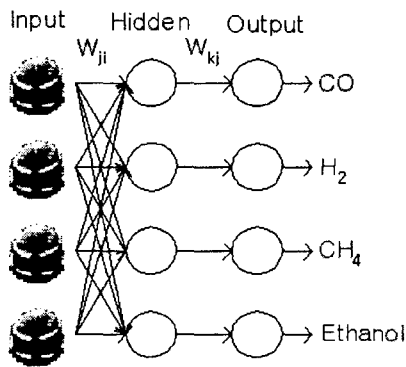


그림 5. 신경망 구조

먼저, 입력층은 센서 어레이로부터 입력신호를 받고 시냅스 1층(W_{ij})은 센서의 반응도를 8bit 랜덤펄스로 변환시키며 중간층은 시냅스로부터 랜덤펄스 신호들을 조합한다. 시냅스 2층(W_{kj})는 활성화 함수를 통해 에러를 줄이고 출력층에서는 가스의 정보를 출력한다.

4.2 CPLD 칩에 설계된 DMNN

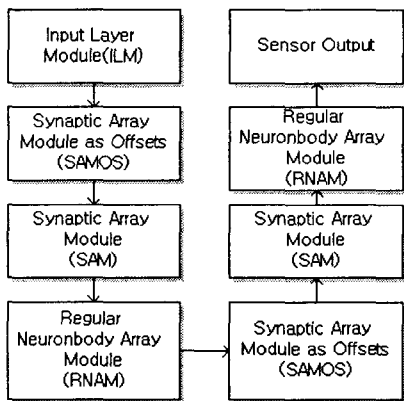


그림 6. CPLD 내부 블록도

위 그림 6은 CPLD 칩의 내부 블록도이다. 입력층(ILM)은 입력 반응전압을 A/D 변환기를 이용하

여 랜덤 펄스 신호로 나타낸다. 입력층과 중간층 사이의 시냅스층은 이 랜덤 펄스 신호를 8bit 10진수로 바꾼다. 시냅스 어레이는 오프셋 값을 나타내는 SAMOS와 입력층과 중간층을 상호 연결하는 SAM층으로 구성된다. 4개의 뉴런을 가지는 중간층은 각각 4개의 일차함수를 가지고 되고 두 번째 시냅스층에서는 활성화 함수에 대한 정보를 가지고 오차를 줄여 나가며 출력층에서는 이러한 결과에 대한 결과를 최종 판단하여 출력하게 설계하였다.

V. 시스템 동작 특성

5.1 컴퓨터 시뮬레이션 결과

표2는 CO, H₂, CH₄, Ethanol 에 대한 100, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000ppm에 따른 각 가스센서의 반응도를 C 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 한 결과이다.

표2 컴퓨터 시뮬레이션 결과

Sensor Concentration (ppm)	Sensor				
	TGS_109	TGS_203	TGS_813	TGS_842	
100	CO	0.000898	0.999137	0.000001	0.000000
	H ₂	0.000750	0.001218	0.998334	0.000088
	CH ₄	0.997256	0.000000	0.000000	0.002980
	Ethanol	0.002270	0.000000	0.000000	0.997608
500	CO	0.000001	0.999476	0.000141	0.000000
	H ₂	0.000323	0.001366	0.999180	0.000181
	CH ₄	0.998464	0.000000	0.000000	0.001344
	Ethanol	0.002214	0.000000	0.000008	0.997592
1000	CO	0.000000	0.999440	0.000427	0.000000
	H ₂	0.000367	0.000980	0.999325	0.000239
	CH ₄	0.999614	0.000000	0.000000	0.000112
	Ethanol	0.000052	0.000001	0.000111	0.999938
2000	CO	0.000000	0.999311	0.000744	0.000000
	H ₂	0.000433	0.000567	0.999402	0.000422
	CH ₄	0.999150	0.000001	0.000000	0.000052
	Ethanol	0.000044	0.000001	0.000193	0.999860
3000	CO	0.000000	0.999197	0.001378	0.000000
	H ₂	0.000360	0.000293	0.998210	0.001897
	CH ₄	0.999982	0.000001	0.000000	0.000000
	Ethanol	0.000092	0.000002	0.001857	0.998344
5000	CO	0.000000	0.998838	0.001378	0.000000
	H ₂	0.000360	0.000293	0.998210	0.001897
	CH ₄	0.999982	0.000001	0.000000	0.000000
	Ethanol	0.000092	0.000002	0.001857	0.998344

기본적으로 입력층, 중간층, 출력층은 각각 4개의 뉴런을 가지며, 데이터 데이터는 96, 학습률은 0.500000, 운동량 상수는 0.70000, 반복횟수를 25만번 했을 때 그 결과 오차는 0.000004 이었다.

5.2 VHDL 컴파일러를 이용한 시뮬레이션 결과

본 논문에서 사용한 CPLD 칩은 Altera 사의 SRAM 방식의 ACEX EP1K50TC144-3 칩을 사용하였으며 Max+plus II 소프트웨어를 이용하여 VHDL로 코딩하여 그 동작특성을 시뮬레이션 하였다. 사용된 핀은 45핀이며 Logic cell은 69%를 사용하였다.

그림 7은 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. CH₄가 100ppm일때 Input[7..0]는 4개 센서의 랜덤 펄스값이며 Sel[1..0]은 순서대로 TGS_109, TGS_203, TGS_813, TGS_842를 나타낸다. Addr_col은 세 번째 시뮬스를 나타내며 출력에 4bit의 결과 0100은 CH₄를 나타낸다.

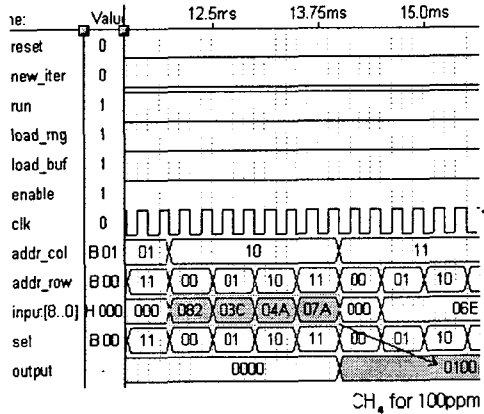


그림 7. VHDL 컴파일러에 의한 시뮬레이션 결과

VI. 시스템 전체 구성도

아래 그림 8은 전체 시스템 구성도이다. 4개의 가스 센서 입력이 4개 채널로 구성되고 8bit별로 순서대로 입력시켜 CPLD 칩 디지털 입력으로 들어가게 하였다. 사용한 디바이스는 A/D 0809와 Altera EPROM 그리고 ACEX 칩과 1메가 오실레이터를 사용하였으며 최종 출력은 LED로써 결과를 눈으로 확인하게 하였다.

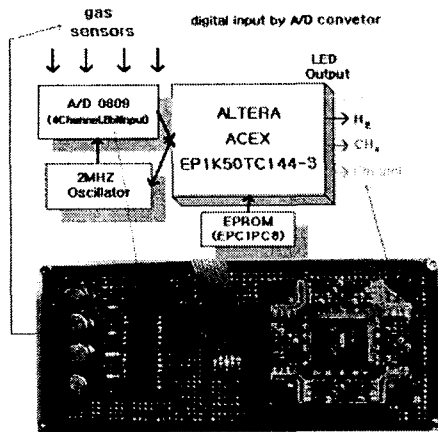


그림 8. 전체 시스템 구성도

VII. 결론

MLP 분류법을 이용한 CPLD 칩을 구현하였다. 신경망의 기본 소자인 뉴런을 변형된 일차함수를 이용하여

구현할 수 있었으며 각 뉴런들을 모듈화하여 신경망 칩을 구성하였다. 설계된 신경망 칩을 마이크로 가스 센서 어레이에 적용하여 입력가스에 대한 결과를 확인할 수 있었다.

설계된 신경망 칩은 VHDL 컴파일러에 의해 쉽게 CPLD 칩에 구현할 수 있으며 제한된 가스종류의 분류도 효과적으로 설계할 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고문헌(또는 Reference)

- [1] 김대수, "Multilayer Perceptron", 신경망 이론과 응용(I), pp92-110, 1999
- [2] 김영철외, "Digital Neural Circuit", 디지털 시스템 설계를 위한 VHDL, pp329-368, 1999
- [3] Technical Reference of Figaro Gas Sensor, Figaro Engineering Inc., Japan, 1992
- [4] 정완영외, "시스템 설계의 응용", VHDL을 이용한 디지털 회로 설계 및 응용, pp71-81, 2000
- [5] 이재도외, "Design with Patten Recognition Neural Network Using VHDL", Proc. 8th Conference Sensor Technology, pp179-183, 2000
- [6] 박종욱, "autotech.co.kr", 산화물 반도체식 가스센서의 응용 및 기술동향, 2000