Journal of Convergence for Information Technology
Vol. 9. No. 9, pp. 38-43, 2019
e-ISSN 2586-4440
DOI : https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2019.9.9.038

디지털과 아날로그 입력이 혼용된 IoT 기기의 마이크로컨트롤러 입력포트 절감에 관한 연구

이현창
공주대학교 정보통신학부 교수

A Study on the Microcontroller Input Port Reduction of IoT Equipments with Mixed Digital and Analog Inputs

Hyun-Chang Lee
Professor, Division of Information & Telecommunications, Kongju National University

요 약 본 논문에서는 IoT 기기에 내장되는 마이크로컨트롤러의 1개 아날로그 포트를 이용해 1개의 아날로그 입력과 2개의 디지털 스위치 입력을 각각 입력받을 수 있는 방법을 제시하였다. 제시한 방법은 아날로그 입력포트의 입력전압 범위 중 상한선과 하한선을 정해 이 구간은 아날로그 입력 전압을 입력받고, 디지털 스위치들은 각각 상한선과 하한선의 경계를 초과하도록 구성하였다. 제시한 방법의 성능을 입증하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해 회로를 구성하고 실험하였으며, 그 결과 3종류의 입력들이 모두 1개의 아날로그 포트를 이용해 각각 감지할 수 있으므로 본래 필요했던 3개의 입력포트가 1개의 입력포트로, 즉 33%로 줄어드는 효과가 나타남을 확인하였다.

주제어 : IoT, 마이크로컨트롤러, 아날로그, 디지털, 입력포트

Abstract In this paper, a method of inputting one analog input and two digital switch inputs by using one analog port of microcontroller embedded in IoT device was proposed. In this method, the upper limit and the lower limit of the input voltage range of the analog input port are determined, and the analog input voltage is input to this interval. The digital switches are configured to exceed the boundaries of the upper and lower limits, respectively. To verify the performance of the proposed method, an experimental circuit was constructed and tested using a microcontroller. As a result, all three inputs can be sensed using a single analog port, thus confirming that the three required input ports are reduced to one input port, ie, 33%.

Key Words : IoT, Microcontroller, Analog, Digital, Input port

1. 서론

IoT 기술은 전기전자 분야를 비롯해 다른 분야들과 융합하는 기술로서[1-3], 일반적인 사물, 즉 가전제품을 비롯해 각종 기계장치들이 인터넷과 연동해 해당 장치를 제어하며[4,5], 인터넷 통신을 위한 회로는 물론 대상 장치를 제어하기 위한 각종 인터페이스 회로가 모두 집약된다[6]. 이러한 중심에는 마이크로프로세서, 그 중 단일 소자로 동작할 수 있는 마이크로컨트롤러가 자리 잡고 있다[7]. 마이크로컨트롤러는 소자의 핀이 대부분 주변장치들과의 접속을 위한 포트들로 구성되므로 주변장치와의 접속이 많아지면 많은 포트들이 필요하고, 필요한 포트가 많아지면 이는 소자의 핀 수가 많아져 최종적으로 소자의 크기가 커지고 가격상승으로 이어지는 결과로 나타난다. 또한 마이크로컨트롤러와 같이 집적회로로 구성된 소자의 경우 소자의 핀이 다양하게 정해져 있는 것이 아니라, 예를 들어 32핀 다음은 40핀, 44핀, 48핀, 54핀, 64핀과 같이 불연속으로 존재하기 때문에

*Corresponding Author : Hyun-Chang Lee(hclee@kongju.ac.kr)
Received August 7, 2019
Revised September 2, 2019
Accepted September 20, 2019
Published September 28, 2019

만약 현재의 마이크로컨트롤러가 48핀이었지만 1개 포트가 더 필요하다면 54핀으로 크게 증가되어야 하는 현실적인 문제가 존재한다.

한편, 사용자가 지령을 입력하기 위한 입력 장치나 기기 상태를 표시하기 위한 표시장치가 제어회로의 주 회로와 물리적으로 떨어져 있는 경우에는 이들을 접속하기 위한 전선의 접속 또한 고려해야 하는데, 전선의 수가 많아지면 이들을 접속하기 위한 커넥터의 크기가 증가하고, 커넥터를 배치할 PCB 기판 또한 커져 기기의 전체적인 부피는 물론 제작 단가에도 큰 영향을 미친다. 이러한 필요성 때문에 최근의 LCD 모니터의 경우 사용자의 조작을 위한 전면 스위치들에 각각 전선을 접속하는 방법보다는 저항 등을 이용해 아날로그 전압으로 전송하거나 또는 대량생산 기기의 경우 스위치보드에 초소형 제어소자를 부착해 직렬통신의 형태로 주 제어보드와 접속하기도 한다. 이 경우 스위치보드와 주 보드 사이의 접속선과 접속 커넥터가 크게 줄어드는 것은 물론 이를 수신하는 마이크로컨트롤러의 포트 수도 크게 줄어 최종적으로 소자의 크기와 주 보드의 크기까지 줄어드는 효과가 발생한다.

이와 같이 오직 디지털로 구성된 입력의 경우 쉽게 포트 수를 절약할 수 있지만, 아날로그 입력이 혼재하는 경우에는 반드시 별개의 포트를 이용해야 하며, 이 때문에 Lee 등[8]은 IoT 기기에서 아날로그 입력과 디지털 입력이 혼용된 경우 마이크로컨트롤러의 포트를 절감할 수 있는 방안을 모색하기 위해 사용자의 입력형태를 분석하였다. 분석결과 사용자의 조작 편의성을 위해 대부분의 기기에서는 디지털 입력과 아날로그 입력을 각각 조작하도록 구성되며 2가지 이상의 입력을 동시에 사용하는 경우는 거의 없다.

이상에서 살펴본 바와 같이 마이크로컨트롤러의 포트 수 절감에 따른 효과는 매우 크게 나타나며, 이러한 필요성에 의해 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 아날로그 입력이 혼용된 경우에 대해 마이크로컨트롤러의 포트를 절감할 수 있는 두 가지 방법을 제시하고 이들을 비교 분석해 더 우수한 방법을 선정하고 실험을 통해 성능을 입증하고자 한다.

(a) Hot water mats control panel
(b) Boiler controller control panel with IoT
Fig 1. Example of analog and digital mixed control

2. 입력포트 절감방법

절감할 입력포트의 목표를 Fig. 2에 타나내었다. 회로에서 SW_1과 SW_2는 2개의 디지털 입력으로서 이들은 각각 R_1, R_2에 의해 풀-업(pull-up) 처리되고, VR_1은 아날로그 입력으로서 전원전압 $+V_{CC}$와 $0V$ 사이를 potentiometer로서 전압배분한다[9]. 이와 같은 전형적인 회로의 경우 마이크로컨트롤러의 포트는 3개가 필요하며, 즉 소자의 3개 핀이 할당되어야 한다.

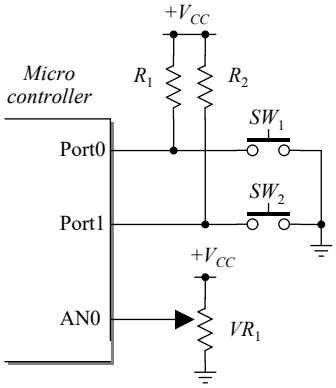


Fig. 2. Circuit of input ports to be reduced

2.1 기본 원리

2.1.1 전압 영역의 배분

1개의 아날로그 포트를 이용해 Fig. 2에 나타낸 2개의 스위치와 1개의 아날로그 입력을 감지하는 기본원리를 Fig. 3에 나타내었다.

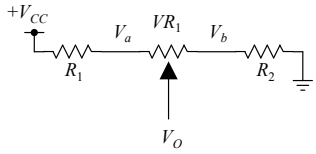


Fig. 3. Principle of voltage generation for analog input

Fig. 3에서 가변저항 VR_1의 양 끝점에 각각 저항 R_1과 R_2를 직렬로 접속하면 전원전압 $+V_{CC}$는 식 (1), (2)와 같이 전압배분된다.

$$V_a = \frac{R_2 + R_{VR1}}{R_1 + R_2 + R_{VR1}} \cdot V_{CC} \tag{1}$$

$$V_b = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{VR1}} \cdot V_{CC} \quad (2)$$

즉 가변저항의 양 끝점 전압이 식 (1), (2)에 의한 V_a와 V_b이므로 사용자가 가변저항을 조절하면 이 범위에서 전압이 발생하며, 따라서 출력전압 V_O는 $+V_{CC}$ 또는 0V가 출력될 수 없다. 마이크로컨트롤러는 V_O를 아날로그-디지털 변환해 이와 같은 범위의 전압이 입력되었을 경우 가변저항의 상태를 판독할 수 있다. 이 상태에서 스위치에 의해 V_O 전압이 강제로 $+V_{CC}$ 또는 0V로 변화시키면 이를 스위치의 입력상태로 감지할 수 있으며, 이 때 형성되는 전압분포를 Fig. 4에 나타내었다.

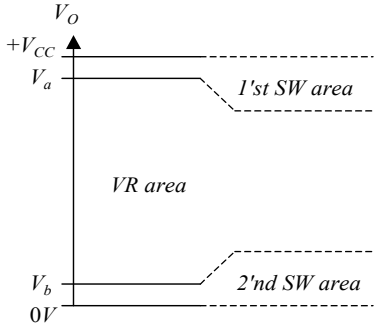


Fig. 4. Voltage distribution of VO

Fig. 4에서, 첫 번째 스위치를 작동하면 출력전압 V_O는 $+V_{CC}$까지 상승하고, 두 번째 스위치를 작동하면 0V까지 하강하며, 두 스위치 모두 작동하지 않으면 V_a부터 V_b 사이의 전압이 출력된다. 따라서 마이크로컨트롤러는 이를 감지해 각 입력을 판별할 수 있다.

2.1.2 스위치 영역 전압의 설정

Fig. 4와 같은 방법으로 전압영역을 분할한 경우 가변저항을 감지하는 영역인 V_a와 V_b 사이의 간격은 가급적 클수록 감지 정밀도 측면에서 유리하다. 그러나 V_a가 지나치게 $+V_{CC}$와 근접하거나 V_b가 0V와 근접하면 스위치 접점 저항 등의 원인에 의해 전압에 약간의 변화가 발생하면 검출 오류로 이어지므로 어느 정도 여분이 필요하다. 전체 전압범위에 대한 스위치 영역전압의 비율은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있고, 따라서 식 (2)는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{V_b}{V_{CC}} \quad (3)$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{VR1}} = \eta \quad (4)$$

두 스위치 영역의 폭이 동일하도록 구성한다면 식 (5)와 같은 관계가 성립하며, 이를 식 (4)에 대입하면 식 (6)과 같은 저항비를 얻을 수 있다.

$$R_1 = R_2 \quad (5)$$

$$R_{VR1} = R_1 \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 2\right) \quad (6)$$

예를 들어 V_{CC} = +5V인 회로에서 스위치 영역의 전압을 전체전압의 5%, 즉 V_a를 +4.75V, V_b를 +0.25V로 설정한다면 η = 0.05를 식 (6)에 대입하면 식 (7)과 같은 저항비를 얻을 수 있고, 따라서 R_1, R_2, VR_1의 비율은 각각 1:1:18의 비율로 구성된다.

$$R_{VR1} = 18 \cdot R_1 \quad (7)$$

2.2 NC 스위치에 의한 방법

Fig. 5에 NC(Normal Closed) 스위치를 사용한 회로를 나타내었다. Fig. 5에서 SW_1과 SW_2는 각각 가변저항 VR_1과 R_1, R_2의 접속점에 직렬로 위치하고 스위치들은 NC형을 사용해 평소에는 모두 접속 상태이므로 가변저항은 정해진 범위 내에서 전압이 발생한다.

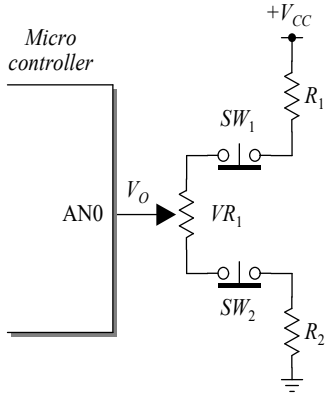
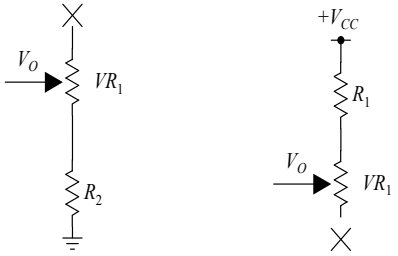


Fig. 5. Circuit of reducing method by NC switch



(a) SW_1 activated (b) SW_2 activated

Fig. 6. Equivalent circuit when switch is operated

SW_1을 동작시키면 VR_1 상단이 open되므로 이의 등가회로는 Fig. 6(a)와 같이 형성되어 출력전압 V_O는 0 V로 하강한다. SW_2를 동작시키면 VR_1 하단이 open되므로 이의 등가회로는 Fig. 6(b)와 같이 형성되어 출력전압 V_O는 $+V_{CC}$로 상승한다. 따라서 각 스위치를 동작시켰을 경우 출력전압 V_O는 가변저항 전압범위의 상한선과 하한선 경계를 넘어서도록 작용한다.

2.3 NO 스위치에 의한 방법

Fig. 7에 NO(Normal Open) 스위치를 사용한 회로를 나타내었다. SW_1과 SW_2는 각각 가변저항 VR_1과 R_1, R_2의 접속점에 접속되고 스위치들은 NO형을 사용해 평소에는 모두 off 상태이므로 가변저항은 정해진 범위 내에서 전압이 발생한다.

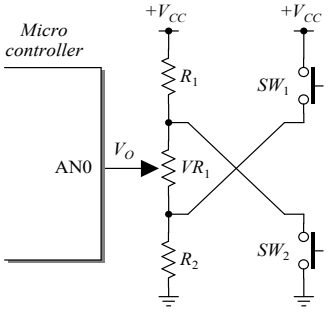
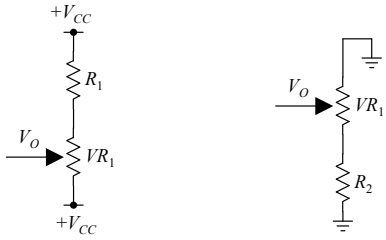


Fig. 7. Circuit of reducing method by NO switch

SW_1을 동작시키면 VR_1 하단이 $+V_{CC}$로 접속되어 이의 등가회로는 Fig. 8(a)와 같이 형성되어 출력전압 V_O는 $+V_{CC}$가 나타난다.

SW_2를 동작시키면 VR_1 상단이 GND로 접속되며 이의 등가회로는 Fig. 8(b)와 같이 형성되어 출력전압 V_O는 0 V로 하강한다. 따라서 각 스위치를 동작시켰을 경우 출력전압 V_O는 가변저항에 의한 전압의 상한선과 하한선 경계를 넘어서도록 작용한다.



(a) SW_1 activated (b) SW_2 activated

Fig. 8. Equivalent circuit when switch is operated

2.4 각 방법들의 특징 비교분석

2.4.1 NC 스위치 방식

NC 스위치 방식은 스위치 가동 시 접점이 off되므로 감지전류가 흐르지 않는 장점이 있는 반면, 가변저항의 한쪽이 오픈되므로 잡음에 불리하고, 실제 부품에서 NC 스위치보다는 NO스위치가 더 많이 사용되므로 가격 면에서 불리하다.

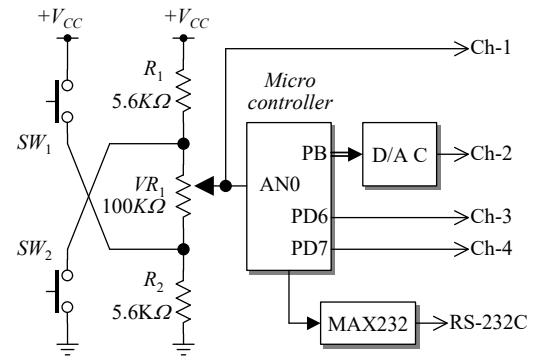
2.4.2 NO 스위치 방식

NO 스위치 방식은 스위치 가동 시 가변저항의 한쪽이 전원으로 접속되어 임피던스가 0이 되므로 잡음에 불리한 문제는 없으며, 일반적으로 사용되는 NO 스위치를 사용하므로 구성 가격 면에서 유리하다. 그러나 SW_1을 동작시키면 R_2에, SW_2를 동작시키면 R_1에 큰 전류가 흐를 수 있으므로 지나치게 작은 저항값은 피해야 하고, 또한 가변저항도 작은 저항값을 사용할 경우 사용자의 잘못된 조작에 의해 두 스위치가 동시에 동작하면 가변저항에 큰 전류가 흘러 파손될 수 있다.

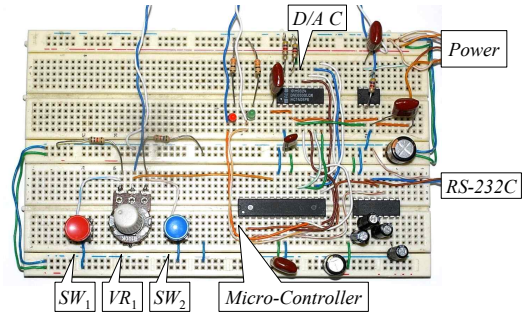
이상에서 살펴본 바와 같이 NC 스위치 방식에 비해 NO 스위치 방식이 생산단가나 회로의 안정성 측면에서 더 우수함을 알 수 있다.

3. 실험 및 고찰

제시한 회로의 성능과 효과를 확인하기 위해 Fig. 9와 같은 회로를 구성해 실험하였으며, 각 저항들의 값은 식 (7)에서 구한 비율에 근접한 값으로 사용하였다.



(a) Block diagram



(b) Bread board

Fig. 9. Experimental circuit

마이크로컨트롤러는 Atmel의 ATmega88A[10]를 사용하고, 각 스위치 상태는 PD6과 PD7 포트를 경유해 표시하며, 아날로그 상태를 표시하기 위해 포트-B(PB)를 경유해 디지털-아날로그 변환회로[11,12]를 거쳐 아날로그 전압으로 출력되도록 구성하였다. 또한 각 상태들의 아날로그-디지털 변환값을 확인하기 위해 MAX232 소자를 거쳐 RS-232C로 PC의 터미널에 변환값이 출력되도록 구성하였다. PC의 터미널에 전송된 아날로그-디지털 변환값과 이에 해당하는 환산전압을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental result

Condition	Theory		Experiment	
	ADC	V_O [V]	ADC	V_O [V]
SW_1 On	0xFF	5.0000	0xFF	5.0000
SW_2 On	0x00	0.0000	0x00	0.0000
VR_1 min	0x0C	0.2518	0x0E	0.2745
VR_1 max	0xF2	4.7482	0xF1	4.7255

가변저항의 최소와 최대 상태에서는 이론값과 실험값에 약간의 차이가 발생하며, 이는 측정결과 가변저항기의 오차에 기인한 것으로 판단된다. 표 1로부터 가변저항의 최대, 최소일 때 아날로그-디지털 변환값은 0x0C부터 0xF2 사이에서 변화하므로 각 스위치의 판단경계는 이보다 여유를 둔 0x08과 0xF8로 프로그램을 구성하였다. Fig. 9 회로의 각 부분 오실로스코프 파형을 Fig. 10에 나타내었다.

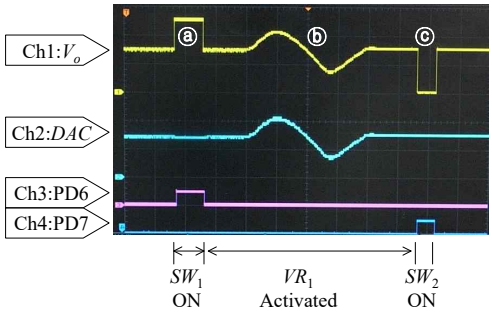


Fig. 10. Oscilloscope waveform
(Ch1, 2 : Volt/Div = 2.0V, Ch3, 4 : Volt/Div = 10.0V Time/Div = 0.5 Sec)

Fig. 10 Ch1의 V_o 파형은 가변저항으로부터 검출한 것으로서, 구간 ⓐ는 SW_1을 가동해 검출전압이 최대로 상승하였고, 이에 따라 Ch3에서 SW_1이 검출된 출력이 발생한다. 구간 ⓑ는 가변저항을 가동시킨 것으로서, 검출된 값이 디지털-아날로그 변환기를 거쳐 Ch2에 출력된다. 또한 구간 ⓒ는 SW_2를 가동한 상태로서 검출전압이 0V로 하강하며, 이 신호가 검출되어 Ch4에서 검출 출력이 발생한다. 이상의 결과에서, 1개의 아날로그 포트를 이용해 VR_1의 아날로그 전압은 물론 2개의 스위치 입력이 각각 검출됨을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 IoT 기기에 내장되는 마이크로컨트롤러의 1개 아날로그 포트를 이용해 부품 수의 증가 없이 1개의 아날로그 입력과 2개의 디지털 스위치 입력을 각각 입력받을 수 있는 2가지 방법을 제시하고, 이들 방법을 비교 분석해 더 유리한 방법을 선별하였다. 제시한 방법은 아날로그 입력포트의 입력전압 범위 중 상한선과 하한선을 정해 이 구간은 아날로그 입력 전압을 입력받고, 디지털 스위치들은 각각 상한선과 하한선의 경계를 초과하는 전압이 발생해 하나의 아날로그 입력포트를 통해 3종류의 입력이 가능하도

록 구성하였다.

제시한 방법의 성능과 효과를 입증하기 위해 마이크로컨트롤러를 이용해 회로를 구성하였으며, 그 결과 3종류의 입력들이 모두 1개의 아날로그 포트를 이용해 감지할 수 있음을 확인하였고, 이에 따라 본래 필요했던 3개의 입력포트가 33%인 1개의 입력포트로 크게 절감되는 효과가 있음을 입증하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 방법을 IoT 기기에 적용할 경우 기기의 소형화 및 원가절감에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] C. J. Chae & H. J. Cho. (2016). Smart Fusion Agriculture based on Internet of Thing. *Journal of the Korea Convergence Society, 7(6),* 49-54. DOI : 10.15207/JKCS.2016.7.6.049

[2] S. H. Lee & D. W. Lee. (2016). A Study on u-Health Fusion Field based on Internet of Thing. *Journal of the Korea Convergence Society, 7(4),* 19-24. DOI : 10.15207/JKCS.2016.7.4.019

[3] S. K. Youm, S. K. Hong & W. K Koh. (2018). The Smart Outdoor Cultivation System using Internet of Things. *Journal of the Korea Convergence Society, 9(7),* 63-68. DOI : 10.15207/JKCS.2018.9.7.063

[4] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic & M. Palaniswam. (2013). Internet of Things (IoT): A Vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems, 29(7),* 1645-1660. DOI : 10.1016/j.future.2013.01.010.

[5] I. Lee & K. Lee. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons, 58(4).* DOI : 10.1016/j.bushor.2015.03.008.

[6] S. T. Kim. (2017). Design of small-scale connected service solution for Internet of Things. *Journal of the Korea Convergence Society, 8(9),* 25-30. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.9.025

[7] J. B. Peatman. (1989). *Design with Micro- controllers*, McGraw-Hill.

[8] H. C. Lee, S. Y. Kwon, W. S. Na & M. Y. Kim. (2018). Analysis about Reducing Micro- controller port of the IoT Equipments : Case of Analog and Digital mixed. *Conference of Convergence Society for SMB,* 224-225.

[9] A. Malvino & D. J. Bates. (2006). *Electronic Principles - 7th Edition*, McGraw-Hill.

[10] Microchip Technology Inc. (2014). *ATmega48/88/168 Automotive 8-bit AVR Microcontroller*. Microchip. http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7530-Automotive-Microcontrollers-ATmega48-ATmega88-ATmega168_Datasheet.pdf

[11] J. Watkinson. (2013). *Art of Digital Audio. 2nd ed.* Focal Press, 196-274.

[12] Texas Instruments. (2001). *DAC0808 8-Bit D/A Converter*. Texas Instruments. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dac0808.pdf

이 현 창(Hyun-Chang Lee) [정회원]

· 1986년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
· 1989년 8월 : 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
· 1996년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
· 1996년 3월 ~ 2005년 2월 : 국립 천안공업대학 정보통신과 부교수
· 2005년 3월 ~ 현재 : 국립 공주대학교 공과대학 정보통신공학부 교수
· 관심분야 : 마이크로프로세서 응용, 회로 및 시스템
· E-Mail : hclee@kongju.ac.kr