

논문 2024-2-6 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2024.06.06>

가상 실험용 SPI 직렬통신 모듈 구현

기장근*†

Implementation of SPI Serial Communication Module for Virtual Experiments

Jang-Geun Ki*†

요 약

최근 우리 사회에 커다란 영향을 미쳤던 COVID-19은 공학교육 분야에 있어서도 해결해야 할 많은 과제를 남겨주었다. 특히 기존의 오프라인 대면 물리적 실험 실습 대신 언제 어디서나 비용 부담 없이 시뮬레이션을 통해 학습할 수 있는 가상실험 소프트웨어의 개발이 중요하게 되었다. 본 연구에서는 마이크로컨트롤러 응용 시스템 설계 교육용 가상 실험 소프트웨어 개발 연구의 일환으로 마이크로컨트롤러가 주변 장치들과 정보를 주고받을 때 사용하는 SPI 직렬통신 인터페이스 시뮬레이션 모듈을 설계하고 구현하였다. 개발된 SPI 통신 모듈은 2개의 마이크로컨트롤러를 서로 연결한 회로를 구성하고, 설계된 SPI 통신 방식으로 데이터를 송수신 하는지 가상 실험을 통해 확인함으로써 기능을 검증하였다. 앞으로 본 연구에서 개발된 SPI 통신 모듈로 인해 마이크로컨트롤러와 다른 주변 장치간 보다 다양한 인터페이스 지원이 가능하게 되고, 따라서 가상 실험 실습을 통해 보다 실질적인 교육의 효과를 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

COVID-19, which has recently had a great impact on our society, has left many challenges to be solved in the field of engineering education as well. In particular, instead of the existing offline, face-to-face physical experimental practice, the development of virtual experimental simulation software that has many advantages such as anytime, anywhere and less cost, has become important. In this study, as part of the development of virtual experimental software for microcontroller application system design education, an SPI serial communication interface simulation module used by microcontrollers to exchange information with peripheral devices has been designed and implemented. The developed SPI communication module was verified by constructing a circuit in which two microcontrollers were connected to each other and checking whether data was transmitted and received according to the designed SPI communication method through virtual experiments. It is expected that the developed SPI communication module will enable more diverse interface support between microcontrollers and other peripheral devices, and thus increase the effectiveness of education through more practical virtual experimental practice.

한글키워드 : SPI 프로토콜, 가상 실험, 마이크로컨트롤러, 비동기 직렬통신, 공학교육

keywords : SPI protocol, virtual experiment, microcontroller, asynchronous serial communication, engineering education

* 공주대학교 전기전자제어공학부

접수일자: 2024.05.27. 심사완료: 2024.06.08.

† 교신저자: 기장근(email: kjg@kongju.ac.kr)

게재확정: 2024.06.20.

1. 서론

정보통신 기술의 급속한 발달과 함께 최근 유행했던 COVID-19은 사회 경제를 비롯한 우리 생활의 모든 분야에 걸쳐 전 세계적으로 많은 변화를 야기하였다. 특히 컴퓨터와 인터넷을 비롯한 휴대용 단말기의 급속한 발전으로 전기전자 분야가 다른 공학분야에 미치는 영향이 증대되어 거의 모든 산업분야에서 전기전자 분야와의 융합이 이루어지고 있다. 예를 들어 기계 분야였던 자동차 산업이 인공지능을 활용한 자율주행 형태로 발전하면서 컴퓨터나 전기전자 분야와의 융합이 일어나고, 그밖의 거의 모든 산업분야에서도 마이크로컨트롤러를 사용한 임베디드 시스템 등을 활용하는 예가 늘어나고 있다.

공학교육 분야에 있어서도 정보통신 기술의 발전 덕분에 십여년 전에는 존재하지 않았던 다양한 새로운 도구와 교수 방법이 도입되고 있다. 그중에서도 직접 물리적인 도구를 사용한 실험실습을 대체할 수 있는 가상실험에 대한 관심과 연구가 증대되고 있다[1-7]. 이러한 가상실험 도구를 사용한 교육이 교육성과를 충분히 얻을 수 있도록 하기 위해서는 물리적 실험을 대체할 수 있는 다양한 가상실험 소프트웨어가 구현되어야 할 것이다.

본 연구에서는 디지털 회로 설계 및 마이크로컨트롤러 응용 시스템 교육을 위한 가상실험 소프트웨어 개발 연구의 일환으로, 마이크로컨트롤러의 SPI(Serial Peripheral Interface) 직렬 통신 모듈 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 SPI 통신 모듈은 본 연구의 선행 연구[8, 9]에서 개발된 RS-232 통신 모듈과 병합되어 마이크로컨트롤러와 다른 주변장치간 다양한 통신방식을 지원함으로써 보다 실질적인 실험 실습이 가능하게 되고 또한 보다 많은 주변 장치들과의 통신 기능을 제공하게 되어 교육의 실질적인 효과를 증대시킬

수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 SPI 직렬 통신 프로토콜에 대한 개요를 살펴보고, 가상실험 소프트웨어에서 사용될 SPI 직렬 통신 모듈 설계 및 구현 방안에 대해 기술하였다. 3장에서는 본 논문에서 구현된 SPI 모듈의 기능 검증을 위한 실험에 대해 기술하였고, 4장에서 결론을 맺었다.

2. SPI 직렬 통신 모듈 모델링

2.1 SPI 통신 프로토콜 개요

SPI 통신 인터페이스[10, 11]는 마이크로컨트롤러들간 또는 마이크로컨트롤러와 주변장치들 사이에 데이터를 주고 받을 때 많이 사용되고 있는 직렬 통신 방식의 하나이다. SPI 통신에서는 클럭 신호와 데이터 신호를 전송하는 선이 별도로 분리되어 있으며, 추가로 선택선이 있어 필요에 따라 통신하고 싶은 장치를 선택할 수도 있다.

그림 1에 SPI 통신을 위한 마스터(Master) 노드와 슬레이브(Slave) 노드 사이의 연결 구조를

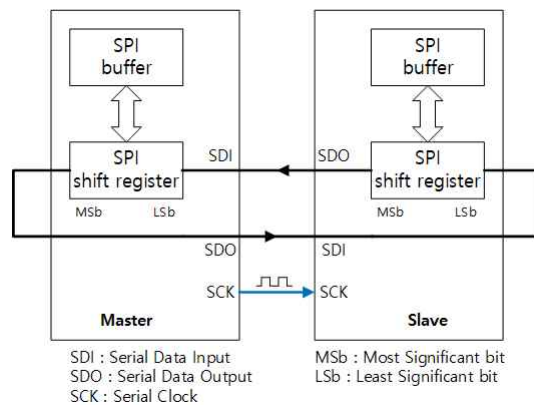


그림 1. SPI 마스터-슬레이브 연결 구조
Fig. 1. SPI master-slave connection structure

나타내었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 SPI 통신 방식에서는 마스터가 슬레이브 노드로 공급하는 클럭(SCK) 신호에 맞추어 두 노드가 상호 유기적으로 연결된 자리에동레지스터(SPI shift register)에 의해 데이터를 송수신하게 된다. 마스터는 자신이 원할 때 언제나 데이터 전송을 시작할 수 있으며, SPI 버퍼 레지스터에 송신을 원하는 데이터를 쓰면 곧바로 SPI 자리에동 레지스터(shift register)로 데이터가 옮겨지면서 슬레이브 쪽으로 클럭을 공급하기 시작하여 데이터 전송을 시작하도록 구성되어 있다. 데이터 전송은 각 바이트의 최상위(MSb) 비트부터 최하위(LSb) 비트 순서로 전송이 이루어진다. 1 바이트의 데이터를 슬레이브로 송신하면 그림 1의 유기적 연결 구조에 의해 슬레이브로부터도 1 바이트의 데이터가 마스터에 의해 수신되는데, 이때 수신된 1 바이트의 데이터는 자동으로 SPI 버퍼 레지스터로 옮겨지게 된다. 만일 마스터가 자신은 슬레이브에게 데이터를 보내지 않고 슬레이브로부터 데이터를 수신만 하려면 자신의 SDO 출력선을 비가용(disabled) 상태로 설정할 수도 있다. 슬레이브는 SCK 클럭단자에 마스터로부터 입력되는 클럭신호가 나타나면 이 클럭신호를 이용해

SPI 자리에동 레지스터를 구동시켜 SDI 단자로 입력되는 데이터를 수신함과 동시에 자신의 데이터도 송신할 수 있다.

SPI 통신을 위한 인터페이스는 그림 1에 나타내었던 것처럼 마스터와 슬레이브의 자리에동 레지스터가 유기적으로 연결되는 구조를 갖기 때문에 항상 바이트 단위의 데이터 송수신이 동시에 이루어지게 된다. 물론 데이터 전송의 주도권은 클럭을 공급하는 마스터에게 달려 있으며, 마스터는 송신할 데이터가 있거나, 송신은 안하지만 슬레이브로부터의 수신을 원할 때는 슬레이브 쪽으로 클럭 공급을 시작하게 된다. 마스터는 슬레이브로 보낼 데이터가 없는 경우에는 자신의 SDO 출력선을 비가용 상태로 만들 수 있으며, 슬레이브의 경우에는 마스터로 보낼 데이터가 없는 경우에는 의미없는 더미(dummy) 바이트를 보내게 된다. 실제 송수신 되는 데이터 바이트의 더미 정보 여부는 응용 프로그램에 따라 결정지어진다.

2.2 SPI 통신 모듈 구현

본 논문에서 개발된 SPI 통신 모듈은 앞절의 그림 1에 나타낸 구조와 같이 마이크로프로세서

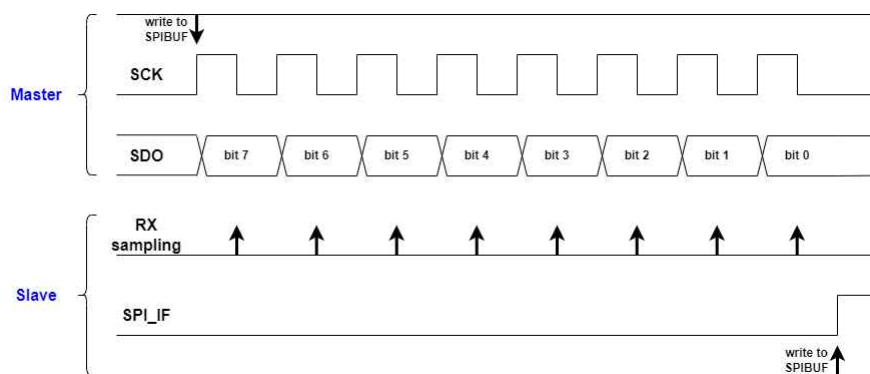


그림 2. SPI 송수신 타이밍도
Fig. 2. SPI Tx-Rx timing diagram

[12-14] 안에 내장되어 그림 2와 같은 타이밍도에 따라 동작하도록 설계되고 구현되었다.

그림 2에서 알 수 있듯이 데이터 송신을 원하는 마스터는 해당 마이크로컨트롤러가 수행하는 프로그램에서 원하는 데이터 바이트를 SPIBUF 버퍼에 쓰게 되면 SDO 출력 핀으로 데이터를 내보내면서 동시에 SCK 클럭신호를 내보내게 된다. 슬레이브 마이크로컨트롤러는 이 클럭신호의 하강모서리 시점에 맞추어 마스터의 SDO 출력 핀과 연결되어 있는 SDI 입력핀으로 들어오는 데이터 비트를 읽어들이어 저장하게 되고, 8 비트의 데이터를 모두 수신하게 되면 수신 비트들을 SPIBUF 버퍼로 옮기고 SPI_IF 인터럽트 플래그를 세트시키며, 프로그래머는 수신 프로그램에서 이 인터럽트 플래그를 적절히 활용하여 수신 데이터를 처리하도록 프로그램을 작성하면 된다.

3. 실험 및 기능 검증

본 절에서는 본 논문에서 구현한 SPI 통신 모듈의 기능 검증에 관해 기술한다.

SPI 직렬 통신 기능 모듈 시험을 위해 먼저 그림 3과 같이 가상실험 프로그램상에서 2개의 마이크로컨트롤러를 연결한 회로를 구성하였다. 그림에서 왼쪽 마이크로컨트롤러는 SPI 통신에서 마스터 역할을 하는 프로그램을 실행하도록 하고, 오른쪽 마이크로컨트롤러는 슬레이브 역할을 하는 프로그램을 실행하도록 하였다.

그림 4는 그림 3의 가상실험 회로도를 실제 브레드보드에 구성한 회로로써, 가상실험과 실제실험의 결과가 동일함을 보이기 위해 물리적인 실험도 병행하여 나타내었다.

그림 5에는 그림 3과 그림 4에서 동일하게 사용된 마스터 프로그램과 슬레이브 프로그램의 흐름도를 나타내었다.

그림 3과 그림 4에서 왼쪽 마스터 마이크로컨트롤러는 위쪽에 위치한 스위치가 눌릴 때마다 인터럽트가 발생하도록 설정하였고, 검증의 편의를 위해 인터럽트 서비스 루틴에서 스위치가 눌릴 때마다 1씩 증가되는 BCD 카운터 값을 슬레이브로 전송하도록 프로그램되었다. 전송되는 카운터 값 4비트는 LED 또는 7447 디코더와 7세그먼트 소자를 연결해 확인할 수 있도록 회로가 구성되었다.

슬레이브는 마스터로부터 수신한 데이터 값을 LED 소자나 7-세그먼트 디스플레이 소자를 통해 표시하도록 구성되었으며, 실험을 통해 마스터가 전송하는 바이트 값을 슬레이브가 정상 수신하여 표시장치에 출력함을 확인하였다.

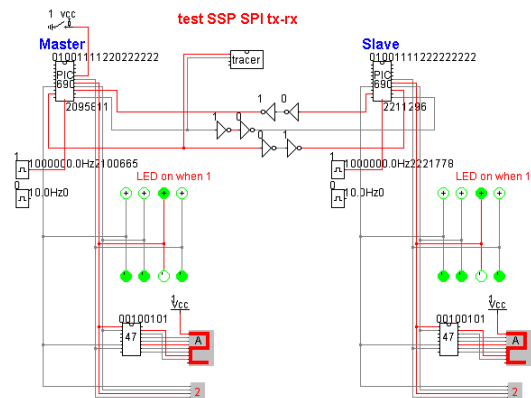


그림 3. SPI 통신모듈 기능 시험 회로
Fig. 3. Circuit to test the SPI module

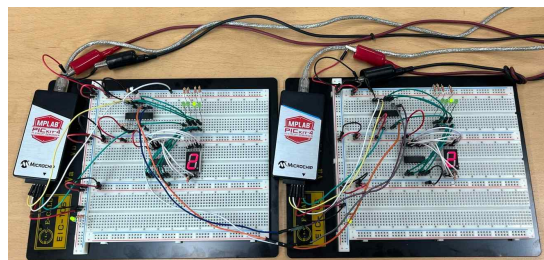


그림 4. 브레드보드 실험 회로
Fig. 4. Experimental circuit on the breadboard

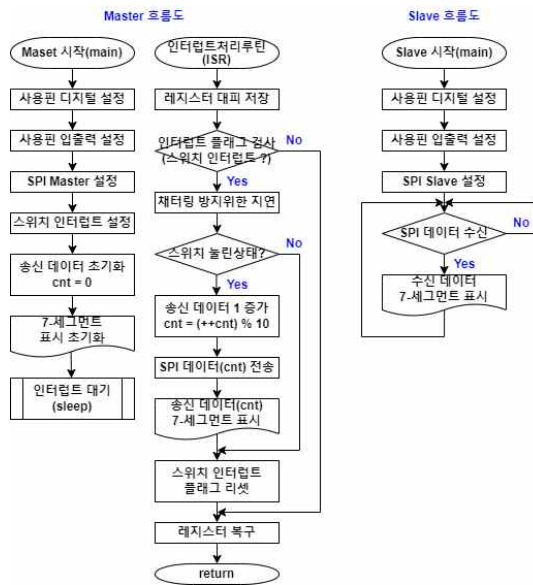


그림 5. SPI 마스터/슬레이브 흐름도
Fig. 5. Flowchart for SPI master/slave

그밖에도 슬레이브가 수신한 데이터를 송신쪽으로 되돌려 보내는 프로그램을 작성해 실험함으로써 구현된 SPI 통신 모듈의 양방향 통신 기능도 정상 동작함을 검증하였다.

4. 결 론

최근 우리 사회에 커다란 영향을 미쳤던 COVID-19은 공학교육 분야에 있어서도 해결해야 할 많은 과제를 남겨주었다. 기존의 오프라인 대면 교육에서 물리적으로 직접 수행해야 했던 실험실습 대신 언제 어디서나 비용 부담없이 시뮬레이션을 통해 학습할 수 있는 가상실험 소프트웨어의 개발이 중요하게 되었다.

본 연구에서는 디지털 회로 설계 및 마이크로컨트롤러 응용 시스템 교육용 가상실험 소프트웨어 개발 연구의 일환으로 마이크로컨트롤러가 주변장치들과 정보를 주고받을 때 사용하는 SPI 통

신 인터페이스 모듈을 설계하고 구현하였다. 개발된 SPI 통신 모듈은 마이크로컨트롤러 모델에 포함되어 소프트웨어적으로 기능이 설정되고 데이터 송수신을 수행한다. 개발된 모듈의 기능을 검증하기 위해 2개의 마이크로컨트롤러를 서로 연결한 회로를 구성하고, 설계된 SPI 통신 방식으로 데이터를 주고 받는지 가상실험을 통해 확인하였다.

본 연구를 통해 개발된 SPI 통신 모듈은 선행 연구에서 개발된 RS-232 통신 모듈과 함께 마이크로컨트롤러들 사이 뿐만 아니라 다른 주변장치와의 다양한 통신방식을 지원함으로써 보다 실질적인 실험실습이 가능하게 되어 교육의 실질적인 효과를 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

앞으로 SPI 및 RS-232 직렬통신과 블루투스 또는 와이파이(WiFi)와 같은 무선통신을 연결해주는 변환 인터페이스 모듈을 개발하여 최근 다양하게 사용되고 있는 주변 센서나 그밖의 장치들과의 연결을 통한 임베디드 시스템 설계 교육에 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Chrysi Rapanta, Luca Botturi, Peter Goodyear, Lourdes Guardia, Marguerite Koole, "Balancing Technology, Pedagogy and the New Normal: Post.pandemic Challenges for Higher Education", *Postdigit Sci Educ* 3, pp.715-742, Oct. 2021, DOI : <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00249-1>
- [2] L. E. R. Robles, M. M. Larrondo-Petrie, J. D. Texier, M. A. Sosa, L. C. Valdez-Cervantes, V. Lara-Prieto, "Facing post-pandemic challenges in engineering education: Promoting global collaborations in Latin America", 2023 IEEE Global Engineering

- Education Conference (EDUCON), Kuwait, pp.1-8, 2023, DOI : 10.1109/EDUCON54358.2023.10125142.
- [3] Diego Vergara, Pablo Fernandez-Arias, Jamil Extremera, Lilian P Davila, Manuel P Rubio, "Educational trends post COVID-19 in engineering: Virtual laboratories", Mater Today Proc., 49, pp.155-160, 2022, DOI : 10.1016/j.matpr.2021.07.494
- [4] Alvaro Anton Sancho, Diego Vergara, Georgios Lampropoulos, Pablo Fernandez-Arias, "Digital Generation Influence on the Post-COVID-19 Use of Digital Technologies in Engineering Education: A Statistical Study", Electronics, 12, 3989, 2023, DOI : 10.3390/electronics12193989
- [5] Shadnaz Asgari, Jelena Trajkovic, Mehran Rahmani, Wenlu Zhang, Roger C. Lo, Antonella Sciortino, "An observational study of engineering online education during the COVID-19 pandemic", PLoS ONE, 16(4), 2021, DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250041>
- [6] Muthahharah Thahir, Widiawati Widiawati, Nur Baitillah, "The Post Pandemic Education : A Blended Learning Approach For Teaching And Learning In Higher Education in New Normal Era", International Journal of Ethno-Sciences and Education Research, 3(3), pp.99-108, 2023. DOI : <http://dx.doi.org/10.46336/ijeer.v3i3.461>
- [7] Joshua Grodotzki, Siddharth Upadhyay, A. Erman Tekkaya, "Engineering education amid a global pandemic", Advances in Industrial and Manufacturing Engineering, ELSEVIER, 2021, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.aime.2021.100058>
- [8] Jang Geun Ki, Design of Communication Module for Virtual Serial Wireless LAN, Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 23(5), pp.35-40, Oct. 2023, ISSN 2289-0238 (Print), ISSN 2289-0246 (Online), DOI : <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.5.35>
- [9] Jang Geun Ki, Implementation of Bluetooth Communication Module for Virtual Experiments, Journal of Software Assessment and Valuation, 19(1), pp.45-51, March 2023, ISSN 2092-8114, DOI : <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2023.3.06>
- [10] ETSI TS 103 713 V15.4.1 (2021-06), Smart Secure Platform (SSP); SPI interface (Release 15), ETSI Technical specification, 2021, https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103713/15.04.01_60/ts_103713v150401p.pdf
- [11] Piyu Dhaker, Introduction to SPI Interface, Analog Dialogue, Sep. 2018, <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html>
- [12] Microchip, <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors>, 2024
- [13] Proteus, <https://www.labcenter.com/simulation/>, 2024
- [14] Intel Quartus, <https://fpgasoftware.intel.com/>, 2024

저 자 소 개



기장근(Jang-Geun Ki)

1986.2 고려대학교 전자공학과 졸업
 1988.2 고려대학교 전자공학과 석사
 1992.2 고려대학교 전자공학과 박사
 2002.6-2003.6, 2010.6-2011.8, 2016.8-2017.8
 Univ. of Arizona 방문교수
 1992.3-현재 : 공주대학교 공과대학 전기전자
 자제어공학부 교수
 <주관심분야>통신프로토콜, 이동통신시스템