

논문 2025-3-8 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2025.09.08>

디지털 가상 실험을 위한 USB-UART 변환 기능 구현

기장근*†

Implementation of USB-UART Converter
for Digital Virtual Experiments

Jang-Geun Ki*†

요 약

공학교육에서 온라인과 오프라인 학습의 장점을 결합한 하이브리드 학습이 소기의 교육목표를 효율적으로 달성하기 위해서는 오프라인 실험 실습을 대체할 수 있는 가상 실험 도구 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 전기전자 공학 분야에서 필수적으로 학습되고 있는 디지털 회로 설계 분야의 가상 실험 소프트웨어 개발 연구를 위해 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로프로세서가 컴퓨터 외부의 다른 실물 장치와 RS232 직렬 통신 방식을 이용해 데이터를 송수신 할 수 있도록 하는 USB-UART 변환 기능 모듈을 개발하고 실험을 통해 기능 검증을 수행 하였다. 개발된 USB-UART 변환 기능 모듈은 가상 실험 소프트웨어에서 소자 형태로 제공되고, 가상 마이크로프로세서와 RS-232 직렬 통신 방식의 Rx/Tx 선들을 이용해 연결된다. 또한 가상 실험 소프트웨어가 실행되고 있는 호스트 컴퓨터의 USB 가상 COM 포트를 통해 외부의 다른 실물 장치와의 연결 기능을 제공한다. 따라서 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로프로세서는 호스트 컴퓨터 외부의 실물 장치와 RS-232 통신 방식을 이용한 데이터 송수신이 가능하게 된다. 개발된 USB-UART 변환 기능 모듈은 실험을 통해 기능이 정상 동작함을 확인하였으며, 순수한 가상 실험에서 벗어나 가상 마이크로프로세서와 외부 실물 장치간 RS-232 직렬 통신 기능을 제공함으로써 가상 실험 소프트웨어의 활용도를 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In order for hybrid learning that combines the advantages of online and offline learning in engineering education to efficiently achieve the intended educational goals, it is essential to develop a virtual experimental tool that can replace offline experimental practice. In this paper, we developed a USB-UART conversion module that enables a virtual microprocessor within virtual experiment software to transmit and receive data with external physical devices via the RS232 serial communication, and verified its functionality through experiments. The developed USB-UART conversion module is provided in the form of a device in the virtual experiment software and is connected to the virtual microprocessor using Rx/Tx lines in the RS-232 serial communication. It also provides an interface function with other external real-world devices through the USB virtual COM port of the host computer running the virtual experiment software. The developed USB-UART conversion module was successfully validated through experiments and is expected to significantly enhance the utilization of virtual experiment software by enabling RS-232 serial communication between virtual microprocessors and external physical devices extending its application beyond purely virtual environments.

한글키워드 : 디지털 가상 실험, 공학교육, RS-232 직렬 통신, USB-UART 변환기

keywords : digital virtual experiment, engineering education, RS-232 serial communication, USB-UART converter

* 공주대학교 전기전자제어공학부

접수일자: 2025.08.06. 심사완료: 2025.08.29.

† 교신저자: 기장근(email: kjg@kongju.ac.kr)

게재확정: 2025.09.20.

1. 서론

수년 전 우리 일상생활에 많은 영향을 미쳤던 코로나 팬데믹 이후 교육 분야에서도 온라인의 장점을 오프라인 대면 교육의 장점과 합치려는 하이브리드 교육에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-7]. 이러한 하이브리드 교육이 실험 실습을 중요시 여기는 공학교육에서 소기의 교육성과를 달성하기 위해서는 실물 장비가 없어도 가능한 가상 실험 도구의 개발이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 전기 전자 공학교육 분야에서 필수적으로 학습되고 있는 디지털 회로 설계 및 마이크로프로세서 응용 분야에 사용 가능한 가상 실험 실습 도구 개발을 위해 선행적으로 수행되었던 참고문헌 [8]의 연구 결과를 확장하기 위해 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로프로세서가 컴퓨터 외부의 다른 실물 장치와 RS232 직렬 통신 방식을 이용해 데이터를 송수신 할 수 있도록 하는 USB-UART (Universal Serial Bus - Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) 변환 기능 모듈을 개발하고 실험을 통해 기능 검증을 수행하였다.

하이브리드 학습 환경에서 본 연구를 통해 개발된 디지털 회로 설계용 가상 실험 소프트웨어를 사용할 경우 복잡한 실습 장비 제약 없이 언제 어디서든 실습이 가능하게 되고, 학생들이 동일한 소프트웨어 환경에서 학습할 수 있게 되어 장비 사양이나 물리적 실험 장치 부족 문제를 해결할 수 있고, 가상 마이크로프로세서의 시뮬레이션 결과를 즉시 확인하는 동시에 스스로 수정 및 반복 학습을 할 수 있어 자기주도 학습 강화 효과를 도모할 수 있다. 특히 기존의 가상 실험을 통한 시뮬레이션뿐만 아니라 본 연구를 통해 개발된 USB-UART 변환 모듈 기능을 활용하면 외부 실물 장치와 연동하여 동작하도록 회로를 설계할 수 있게 되고 따라서 가상 실험 소프트웨

어의 유용성과 실제 활용도를 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서 RS-232 직렬 통신 프로토콜과 기존 선행 연구에 대해 살펴본 후 3장에서 본 연구를 통해 개발된 USB-UART 변환 기능 모듈의 구현과 기능 검증에 관해 기술하고, 4장에서 결론 및 추후 연구 방향을 제시한다.

2. 마이크로컨트롤러 비동기 직렬통신 방식

일반적으로 디지털 응용 회로 설계에 많이 사용되는 마이크로프로세서나 마이크로컨트롤러들은 주변 장치와 유선 또는 무선, 직렬 또는 병렬, 동기식 또는 비동기식 등의 다양한 방법으로 통신하며 데이터를 교환한다. 이중 UART를 통한 RS-232 비동기식 직렬 통신 방식이 기본적으로 많이 사용되고 있으며, 상용화된 대부분의 마이크로프로세서나 마이크로컨트롤러들이 이 기능을 제공하고 있다[9-11].

RS-232 프로토콜[12]은 1960년 미국 전자산업 협회 EIA(Electronic Industries Association)에 의해 도입된 비동기식 직렬 통신 방식으로 컴퓨터와 주변기기 간 데이터 송수신을 위해 사용되어 왔으며, 하나의 신호선으로 비동기식 스타트 비트와 데이터 비트들 그리고 스탑 비트 순서로 1비트씩 순차적으로 전송한다. RS-232 통신 방식은 하드웨어와 프로토콜 구조가 비교적 단순하여 쉽게 구현 가능하고 수십년간에 걸쳐 산업 현장에서 많은 장비들에 내장되어 오랜 기간 안정적으로 사용되어 왔고, 현재에도 상용화된 대부분의 마이크로컨트롤러들이 주변 장치와의 통신을 위해 RS-232 통신 기능을 기본적으로 지원하고 있다.

본 연구의 선행 연구로 이루어진 연구[8]에서

는 마이크로컨트롤러와 주변 장치 간 정보교환을 위한 다양한 프로토콜들을 소개하고, 가상 실험 소프트웨어에 EUSART(Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) 송수신 기능을 구현하였다. 사용자가 마이크로컨트롤러에 내장된 EUSART 모듈이 송수신용 Tx/Rx 핀들을 통해 데이터를 교환하도록 하기 위해서는 마이크로컨트롤러가 수행하는 프로그램에서 직렬포트 인에이블 플래그 SPEN(Serial Port ENable)=1, 비동기식 동작 설정을 위한 플래그 SYNC=0, 그리고 데이터 송신 시에는 TXEN=1, 수신 시에는 CREN=1로 플래그들을 설정해 주어야 한다. 송신할 실질적인 데이터 바이트는 TXREG 레지스터에 써주면 TX 핀으로 직렬 전송되며, 상대방으로부터 수신된 데이터 바이트는 RCREG 레지스터에 저장되면서 수신 인터럽트 플래그 RCIF=1이 된다. 이와 같이 선행 연구에서 개발된 EUSART 기능은 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로컨트롤러들 사이에서만 이 기능을 사용해 데이터를 송수신할 수 있는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구 결과를 확장하여 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로컨트롤러가 가상 실험 소프트웨어가 실행되는 호스트 컴퓨터의 외부에 존재하는 실물 주변 장치와 UART 기능을 사용해 정보를 교환할 수 있도록 해당 통신 기능을 확장하였다.

3. USB-UART 변환 모듈 구현 및 검증

가상 실험 소프트웨어에서 가상 마이크로컨트롤러와 주변 장치가 연결되어 동작하는 응용 회로 설계 시 대부분의 기존 디지털 회로 시뮬레이터에서는 마이크로컨트롤러뿐만 아니라 주변 장치도 시뮬레이터에서 시뮬레이션 결과를 보여주

는 소자로 제공 되어왔다[13-16]. 그러나 때로는 가상 실험 소프트웨어에서 제공되는 마이크로컨트롤러가 컴퓨터 외부의 실제 물리적인 주변장치와 통신을 할 수 있다면 가상 실험 소프트웨어의 유용성 및 효용성이 매우 증가할 것이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 선행 연구[8]에서 개발된 비동기 통신방식 시뮬레이션 기능을 확장하여 가상 마이크로프로세서와 실제 물리적인 주변 장치 간에 데이터를 송수신할 수 있는 USB-UART 변환 기능을 설계하고 구현하였다.

개발된 USB-UART 변환 모듈은 그림 1에 나타난 것과 같이 호스트 컴퓨터에서 실행되는 가상 실험 소프트웨어에서 설계된 회로 내 가상 마이크로컨트롤러와 호스트 컴퓨터 외부에 위치한 물리적인 주변 장치 간에 RS-232 통신 방식을 이용해 데이터를 주고받을 수 있다.

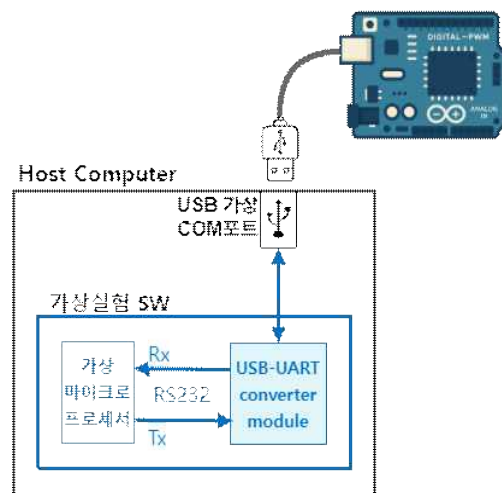


그림 1. 가상 마이크로프로세서와 물리적인 주변장치간 RS-232 인터페이스

Fig. 1. RS-232 Interface between virtual microprocessor and physical peripheral

본 연구에서 개발된 USB-UART 직렬 통신 변환 모듈의 동작을 검증하기 위하여 그림 1과

같이 가상 실험 소프트웨어가 실행되는 호스트 컴퓨터의 USB 포트에 아두이노 보드를 연결하였다. 기능 검증은 먼저 가상 마이크로프로세서가 아두이노 보드 쪽으로 데이터를 보내고 아두이노가 이에 따른 응답을 가상 마이크로프로세서로 보내는 경우와 반대로 아두이노 보드가 가상 마이크로프로세서 쪽으로 데이터를 보내고 이에 따른 응답을 받는 경우의 2가지로 나누어 수행되었다.

먼저 가상 마이크로프로세서가 아두이노로 데이터를 보내고 이에 대한 응답을 받는 실험의 경우에, 아두이노 보드에서 실행되는 반향 프로그램은 호스트 컴퓨터로부터 USB 케이블을 통해 수신되는 직렬 데이터를 아래 그림 2의 프로그램과 같이 Serial.read() 함수로 읽어 들인 바이트 데이터 rxByte를 Serial.write(rxByte) 함수를 이용해 그대로 되돌려 주되 수신 바이트 값을 아두이노 보드에 있는 8개의 LED에 표시하도록 작성되었다. 가상 마이크로컨트롤러에서 실행되는 프로그램은 그림 3에 나타난 흐름도에서와 같이 컨트롤러 내부의 직렬 통신 모듈 활성화를 위한 플

```
void loop()
{
  while (Serial.available() > 0)
  {
    rxByte = Serial.read();
    Serial.write(rxByte);    // echo

    showByteOnLEDs(rxByte);
  }
}

void showByteOnLEDs(byte value)
{
  for (int i = 0; i < 8; i++)
  {
    if (value & (1 << i))
    {
      digitalWrite(LEDpin[i], HIGH);
    }
    else
    {
      digitalWrite(LEDpin[i], LOW);
    }
  }
}
```

그림 2. 아두이노 보드의 반향(echo) 프로그램
Fig. 2. Echo program of the Arduino board

래그 설정 작업을 수행한 후, 0부터 255까지의 바이트 단위 데이터를 차례로 전송해서 아두이노 보드가 응답으로 되돌려준 값을 송신 값과 비교해 다를 경우 에러처리(LED를 깜빡거리려 에러가 발생했음을 알리고 이어서 일정 시간 동안 송신 바이트 값과 수신 바이트 값을 LED에 표시)하고, 송수신 바이트가 같은 경우에는 송신 바이트 데이터 값을 다음 값으로 변경시키면서 전송을 계속한다.

아두이노 보드가 가상 마이크로컨트롤러 쪽으로 바이트 데이터를 송신하고 이를 수신한 가상 마이크로컨트롤러가 수신 바이트를 그대로 반향하면 아두이노 보드는 송신 바이트와 수신 바이트를 비교하여 전송 에러를 검사하는 과정에 사용되는 프로그램도 같은 형태로 작성되어 실험에 사용되었으며, 2가지 경우 모두 정상 동작함을 확인하였다.

그림 4에는 기능 검증을 위해 수행된 실험 장

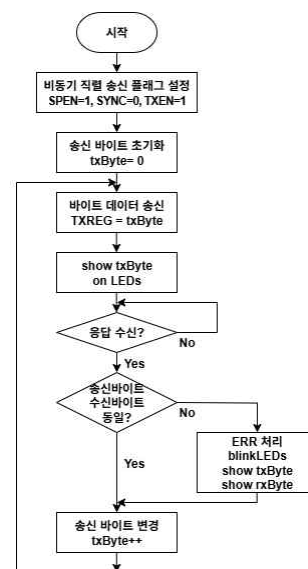


그림 3. 가상 마이크로컨트롤러 주도형 바이트 데이터 전송 흐름도
Fig. 3. Virtual microcontroller-driven byte data transfer flowchart

면의 한 예를 나타내었다. 그림에서 왼쪽은 가상 실험 소프트웨어가 실행되고 있는 호스트 노트북 컴퓨터이고, 오른쪽은 USB 케이블로 연결되어 있는 아두이노 보드 키트이다. 노트북 화면 위치에는 현재 노트북에서 실행되고 있는 가상 실험 소프트웨어에서 시뮬레이션 되고 있는 마이크로컨트롤러 회로 구성을 쉽게 알아볼 수 있도록 회로만 별도로 캡처해 확대한 사진을 겹쳐 나타내었다. 사진에 보이고 있는 상태는 가상 마이크로컨트롤러가 바이트 데이터(0x38)을 아두이노 보드로 송신하고 이를 아두이노가 수신한 상태이며, 가상 실험 소프트웨어의 회로도에는 8개의 LED의 값(LEDOn = 1)이 0b00111000 이고, 오른쪽 아두이노 보드 상의 실제 LED들의 값도 0b00111000 임을 확인할 수 있어 본 논문에서 개발된 USB-UART 변환 모듈을 통해 바이트 데이터가 오류 없이 잘 전송되었음을 볼 수 있다. 만일 전송 오류가 발생하여 가상 마이크로컨트롤러가 아두이노 보드로 전송한 데이터와 같은 값을 되돌려 받지 못하면 가상 마이크로컨트롤러에 연결된 LED 들이 점멸하고 이어서 송신 값과 수신 값이 LED에 차례로 표시되는 에러처리가 이루어진다.

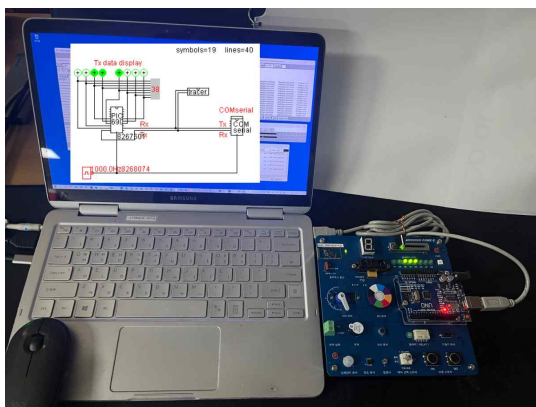


그림 4. USB-UART 변환 모듈 기능 검증 실험
Fig. 4. USB-UART conversion module function verification experiment

4. 결 론

최근 온라인 학습과 오프라인 학습의 장점을 결합한 하이브리드 학습에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이러한 하이브리드 학습이 공학교육에 있어 소기의 교육 성과를 달성하기 위해서는 오프라인 실험 실습을 대체할 수 있는 가상 실험 도구 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 전기 전자 공학 분야에서 기본적으로 많이 학습되고 있는 디지털 회로 설계 분야의 가상 실험 소프트웨어 개발 및 확장 연구를 위해 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로프로세서가 컴퓨터 외부의 다른 물리적 주변 장치와 RS232 직렬 통신 방식을 이용해 데이터를 송수신할 수 있도록 하는 USB-UART 변환기 모듈을 개발하고 실험을 통해 기능 검증을 수행하였다.

개발된 USB-UART 변환 기능 모듈은 가상 실험 소프트웨어에서 사용되는 다른 여러 기본 소자들과 같은 디지털 소자 형태로 제공되고, 가상 마이크로컨트롤러와 RS-232 직렬 통신 방식의 Rx/Tx 선들을 이용해 연결된다. 시뮬레이션이 시작되면 이 기능 모듈은 가상 실험 소프트웨어가 실행되고 있는 호스트 컴퓨터의 USB 가상 COM 포트를 통해 외부의 다른 실제 주변 장치와의 인터페이스 기능을 제공한다. 따라서 가상 실험 소프트웨어 내의 가상 마이크로프로세서는 호스트 컴퓨터 외부의 주변 장치와 RS-232 통신 방식을 이용한 데이터 송수신이 가능하게 된다. 개발된 USB-UART 변환 기능 모듈은 다양한 실험을 통해 기능이 정상 동작함을 확인하였으며, 순수한 가상 실험에서 벗어나 가상 마이크로프로세서와 외부의 물리적 실제 장치간 RS-232 직렬 통신 기능을 제공함으로써 가상 실험 소프트웨어의 유용성과 활용성을 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Jang Ro Woo, Ju Su, Lee Jiyeon, "An explorative analysis of current implementation of college hybrid instruction, main issues and support measures", Journal of Holistic Convergence Education, Vol.27, No.2, pp.1-19, 2023, DOI : <http://dx.doi.org/10.35184/kshce.2023.27.2.1>
- [2] Sylvie Beatrice, The Future of Higher Education: Trends and Innovations, Research Output Journal of Education, Vol.3, No.3, pp.41-44, Aug. 2024, https://www.researchgate.net/publication/383553486_The_Future_of_Higher_Education_Trends_and_Innovations
- [3] Amran Rasli, Mxin Tee, Yin Ling Lai, Zian Cheak Tiu, Eu Hui Soon, "Post-COVID-19 strategies for higher education institutions in dealing with unknown and uncertainties", Frontiers in Education Sec. Higher Education, Vol.7, 2022, DOI : <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.992063>
- [4] Ma, S., "Online Learning Issues, Challenges, and Trends in Higher Education: An Instructional Design Perspective Beyond Pandemic", Journal of Applied Instructional Design, DOI : <https://doi.org/10.59668/1269.15701>
- [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, Vol.16, No.4 : e0250041, 2021, DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250041>
- [6] Rania Salama, Tina Hinton, "Online higher education: current landscape and future trends", Journal of Further and Higher Education, Vol. 47, Issue 7, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1080/0309877X.2023.2200136>
- [7] Ho Chan Ahn, Young Hee Kim, "A Study on the technology trends and development plans for next generation Internet Networks", Summer Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference, pp.436-437, 2022.06, <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11107773>
- [8] Jang Geun Ki, Kee Young Kwon, "A Simulation of Asynchronous Communication on Microcontroller", Journal of Software Assessment and Valuation, 18(2), pp.171-179, Dec. 2022, ISSN 2092-8114, DOI : <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2022.12.17>
- [9] Microchip Technology, Microcontrollers (MCUs), 2025, <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/>
- [10] STMicroelectronics, Microcontrollers & microprocessors, 2025, <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/>
- [11] Texas Instruments, Microcontrollers (MCUs) & processors, 2025, <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/>
- [12] Texas Instruments, Interface Circuits ofr TIA/EIA-232-F, Design Notes, Sept. 2002, <https://www.ti.com/lit/an/slla037a/slla037a.pdf>
- [13] Proteus Virtual System Modeling(VSM) Circuit Simulation Software, 2025, <https://www.labcenter.com/simulation/>
- [14] Microchip, MPLAB X IDE, 2025, <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>
- [15] Intel, Quartus Prime Design Software, 2025, <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/fpga/development-tools/quartus-prime.html>
- [16] AMD, Vivado Design Suite, 2025, <https://www.amd.com/en/products/software/adaptive-socs-and-fpgas/vivado.html>

————— 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 전기전

자제어공학부 교수

<주관심분야>통신프로토콜, 이동통신시스템