

논문 2022-2-17 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2022.12.17>

마이크로컨트롤러의 비동기 통신방식 시뮬레이션

기장근*†, 권기영*

A Simulation of Asynchronous Communicationon Microcontroller

Jang-Geun Ki*†, Kee-Young Kwon*

요 약

기존의 공학분야 교육은 오프라인에서 물리적으로 구축된 실험실습 환경에서 직접 물리적 도구나 소자 등을 사용하는 실험 실습을 통해 이루어져 왔다. 그러나 최근 급변하는 사회환경적 요구로 인해 언제 어디서나 물리적 환경적 요인에 구속되지 않는 온라인 학습에 대한 수요가 급증하고 있다. 이러한 온라인 학습 수요에 대응하기 위해 최근 많은 온라인 콘텐츠들이 구축되고 있으며, 특히 공학분야 교육에서 온라인 학습을 통한 교육 목표의 효율적 달성을 위해서는 가상 실험실습 환경의 구축이 매우 중요하게 되었다. 본 논문에서는 IT 융합 분야의 효율적인 학습 환경 구축을 위해 필요한 가상 실험실습 콘텐츠 개발의 일환으로 개발 중인 마이크로컨트롤러 가상 실험 시스템에서 지원해야 하는 디지털 통신방식을 분석하고, 기본적인 비동기식 전송방식 시뮬레이터 기능을 구현하였다. 개발된 비동기식 전송 시뮬레이터는 기존의 시뮬레이터들과는 달리 실시간 객체지향 이벤트 트리븐 방식으로 동작하도록 설계되었으며, 실제 수업에서 2개의 마이크로컨트롤러가 데이터를 주고받는 가상 회로를 구성하고 각각의 마이크로컨트롤러에서 동작 되는 데이터 송수신 프로그램을 작성해 실행시켜봄으로써 동작을 시험하고 기능을 검증하여 온라인 학습 적용에 대한 유용성을 확인하였다.

Abstract

Traditional engineering education has been conducted through experimental practice using physical tools or devices directly in a physically constructed laboratory environment offline. However, due to the rapidly changing social and environmental demands recently, the demand for online learning that is not bound by physical environmental factors anytime, anywhere is rapidly increasing. To cope with this demand for online learning, many online contents have recently been established, and it is very important to establish a virtual laboratory environment to efficiently achieve educational goals through online learning, especially in engineering education. As part of the development of virtual laboratory contents needed to build an efficient learning environment for IT convergence, this study analyzes the digital communication method and implements the simulator for a basic asynchronous transmission function. Unlike conventional simulators, the developed asynchronous transmission simulator is designed to operate in a real-time object-oriented event-driven manner. In the actual class, operational test and functional verification has been conducted by running data TX/RX programs on a circuit which two microcontrollers are connected.

한글키워드 : 마이크로컨트롤러, 비동기식 전송, 시뮬레이션, 공학교육, 가상실험

keywords : microcontroller, asynchronous transmission, simulation, engineering education, virtual experiment

* 공주대학교 전기전자제어공학부

접수일자: 2022.12.01. 심사완료: 2022.12.08.

† 교신저자: 기장근(email: kjg@kongju.ac.kr)

게재확정: 2022.12.20.

1. 서론

오늘날의 디지털 세상에서 인간의 모든 생활은 임베디드 시스템에 둘러싸여 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 아침 식사를 위해 사용하는 커피 머신과 전자레인저부터 시작해서 출근을 위해 운전하는 자동차, 사무실에 올라가기 위해 타는 엘리베이터 뿐만 아니라 업무를 수행하기 위해 하루 종일 사용하는 컴퓨터와 스마트폰, 그리고 저녁의 휴식을 위해 시청하는 TV와 잠자리에 들 때 음성으로 소등 가능한 스마트 램프 등등 하루 종일 임베디드 시스템 환경 속에서 생활하고 있으며, 이러한 장치들은 반도체 기술 발전과 함께 더 작아지고 더 빨라지고 더 지능화되고 있다.

임베디드 시스템은 다양한 장치 안에 내장되어 주로 시스템 컨트롤과 같은 지정된 특정 기능들을 수행하는 내장 시스템을 뜻하며, 전체 시스템을 관장하여 두뇌 역할을 수행하는 마이크로컨트롤러를 중심으로, 입력 신호를 감지하는 다양한 종류의 센서들과 데이터를 저장하는 메모리, 그리고 결과를 다양한 형태로 보여주는 액츄에이터를 비롯한 여러 가지 출력장치 등으로 구성된다[1-5]. 이러한 임베디드 시스템 구성에서 가장 핵심 두뇌 역할을 하는 마이크로컨트롤러는 센서와 같은 여러 가지 입력 장치들 및 다양한 동작을 수행하는 출력장치들과 정보를 송수신할 수 있도록 인터페이스 되는데 이때 사용되고 있는 표준화된 통신방식으로는 유선/무선, 동기식/비동기식, 직렬/병렬 방식 등에 따라 다양한 종류가 규정되어 있다.

대학의 IT 교육 분야에서 주로 사용되고 있는 마이크로컨트롤러 종류에는, 예전부터 사용되어 온 고전적인 인텔(Intel)사의 8051 칩[6]을 비롯해 마이크로칩(Microchip)사의 PIC 계열과 AVR 계열 마이크로컨트롤러[7] 그리고 ST마이크로일렉

트로닉스(STMicroelectronics)사의 ARM Cortex 기반 마이크로컨트롤러[8], TI(Texas Instruments)사의 MCU 제품[9] 등 다양한 종류들이 있으며, 대부분의 마이크로컨트롤러들이 마이크로컨트롤러 간 또는 마이크로컨트롤러와 주변장치 간 정보 송수신이 가능하도록 UART/USART를 통한 데이터 RS-232 직렬통신 기능 및 I2C(Inter Integrated Circuit), SPI(Serial Peripheral Interface) 통신 기능 등을 비롯한 다양한 표준화된 전송방식들을 지원하고 있다.

이와 같은 마이크로컨트롤러 관련 교육을 위해 전통적으로 대학에서 전용 실험실 환경을 구축하고 선정된 특정 마이크로컨트롤러를 사용하여 대면 실험 실습을 수행해 왔으나 최근 COVID-19 등 많은 사회환경적 변화에 따라 언제 어디서나 물리적 환경적 제약 없이 수행할 수 있는 온라인 학습을 위한 대체 방안의 요구가 급증하고 있다[10].

현재 개발되어 교육 현장에서 사용되고 있는 대부분의 마이크로컨트롤러 시뮬레이터 프로그램들은 단순히 해당 마이크로컨트롤러 자체의 내부기능만을 모델링하여 프로세서 내부의 동작과 프로세서에 연결된 핀 값 까지만 제어 가능하도록 설계되어있는 경우가 대부분으로, 마이크로프로세서와 외부 시스템간의 회로 연결 및 전체적인 응용 시스템 구성에 대한 가상 실험실습이 어려운 실정이다[11-15].

본 논문에서는 마이크로프로세서나 마이크로컨트롤러와 주변장치간의 다양한 통신방식을 시뮬레이션 할 수 있는 방안에 대한 연구를 수행함으로써 가상 실험 실습 소프트웨어에서 마이크로프로세서를 이용한 응용 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 통해 기능을 검증할 때 주변장치와의 통신까지도 포함하여 가상 실험 실습이 가능하도록 확장된 시스템을 구축하고자 한다.

2. 마이크로컨트롤러 데이터 전송방식

일반적으로 마이크로프로세서는 컴퓨터 하드웨어를 구성하는 5가지 구성 장치 중 제어장치와 연산장치를 합친 중앙처리장치를 하나의 칩으로 만든 소자를 말하며, 여기에 추가해서 소량의 기억장치와 일부 입출력 관련 기능 및 자주 활용되는 특정 기능들을 내장시켜 하나의 칩으로 만든 소자를 마이크로컨트롤러라고 한다.

이와 같은 마이크로컨트롤러들은 주변장치와의 인터페이스를 보다 용이하게 할 수 있도록 다양한 표준화된 통신 기능을 지원하고 있다. 현재 대학교육에서 많이 사용되고 있는 마이크로컨트롤러의 종류로는 고전적인 인텔사의 8051 칩을 비롯해 마이크로칩사의 PIC/AVR 계열 컨트롤러, ST마이크로일렉트로닉스사의 ARM Cortex 기반 컨트롤러, TI사의 MCU 제품 등 많은 종류들이 있으며, 대부분의 마이크로컨트롤러들이 마이크로컨트롤러간 또는 마이크로컨트롤러와 다양한 주변장치간 정보 교환이 가능하도록 유선/무선, 동기식/비동기식, 직렬/병렬 방식 표준 인터페이스를 지원하고 있다. 그중 가장 일반적이고 기본적으로 많이 지원되고 있는 비동기식 전송방식으로는 UART/USART를 통한 데이터 직렬통신 기능 및 I2C, SPI 통신 기능 등이 있다.

UART(Universal Asynchronous Receiver & Transmitter)는 소위 말하는 고전적인 RS-232 직렬통신 방식으로 하나의 선을 통해 시작 비트, 데이터 비트들, 선택사항인 패리티 비트, 종료 비트를 차례로 보낸다[16].

I2C는 저속 직렬 반이중 통신을 용도로 Philips에서 개발한 통신 규격이며, 마스터가 SCL(Serial Clock) 선을 통해 클럭을 공급하고 이에 맞추어 SDA(Serial Data)선을 통해 데이터를 슬레이브로 송신하거나 슬레이브로부터 수신하는 반이중(half

duplex) 통신을 지원하며, 각 슬레이브는 서로를 구별하기 위해 고유의 7비트 주소를 가진다. I2C의 가장 큰 장점은 슬레이브 장치의 개수에 상관없이 2개의 선만으로 통신이 가능하고, 2개 이상의 마스터를 사용할 수 있다는 점이며, 단점으로는 슬레이브 주소가 7비트로 제한되어 있어 다수의 슬레이브 사용이 어려울 수 있고, SPI 통신 방식과 비교해 상대적으로 전송속도가 느리다는 점이다. SPI 통신에서는 8비트 데이터를 동기식 전이중(full-duplex) 방식으로 송수신할 수 있으며, 기본적으로 SCK(Serial Clock), SDI(Serial Data In), SDO(Serial Data Out), SS(Slave Select) 선들이 사용된다. 일반적으로 속도가 중시되는 응용에서는 SPI 통신이 선호되고, 간단한 제어신호를 여러 주변장치로 보내는 단순 응용에서는 I2C가 주로 사용된다[16].

이와 같은 기본적인 직렬통신을 이용한 마이크로컨트롤러와 주변장치간 유선 인터페이스 뿐만 아니라 최근에는 블루투스나 무선랜 같은 무선 통신을 이용한 인터페이스를 지원하는 마이크로컨트롤러도 차츰 개발되고 있는 추세이다[16].

본 논문에서는 대부분의 현존 마이크로컨트롤러들이 가장 많이 기본적으로 지원하고 있는 UART 비동기식 전송 시뮬레이터를 구현하되, 기존의 시뮬레이터들과는 달리 실시간 객체지향 이벤트 드리븐(event-driven) 방식으로 동작하도록 설계 하였으며, 2개의 마이크로컨트롤러가 데이터를 주고받는 가상 회로를 구성하고 동작을 시험하여 기능을 검증하고 유용성을 확인하였다.

3. 비동기 전송방식 시뮬레이터 구현

본 논문에서 모델링된 PIC 마이크로컨트롤러의 비동기식 직렬 데이터 전송 기능은 EUSART 모듈에 의해 수행되며, 송신용 TX 핀과 수신용

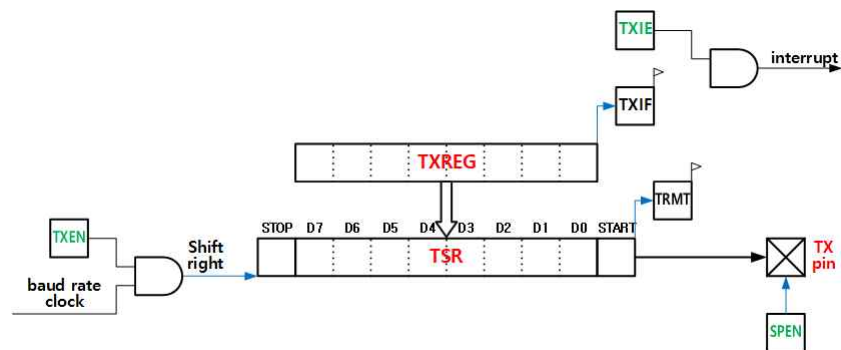
RX 핀을 통해 실질적인 데이터 비트 교환이 이루어진다.

PIC 마이크로컨트롤러가 지원하는 데이터 전송 프로토콜을 사용하기 위해서는 기본적으로 EUSART 모듈을 동작시켜 TX 핀과 RX 핀을 직렬전송을 위해 사용하도록 구성하기 위한 SPEN(Serial Port ENable) 플래그, 동기식과 비동기식 전송방식을 선택하기 위한 SYNC 플래그 (0=비동기식), 비동기식 모드로 동작시킬 경우 송신 회로를 인에이블 시키기 위한 TXEN 플래그와 수신 회로를 인에이블 시키기 위한 CREN 플래그를 적절한 값으로 설정해 주어야 한다. 따라서 RS-232 방식의 비동기식 직렬 전송을 하기

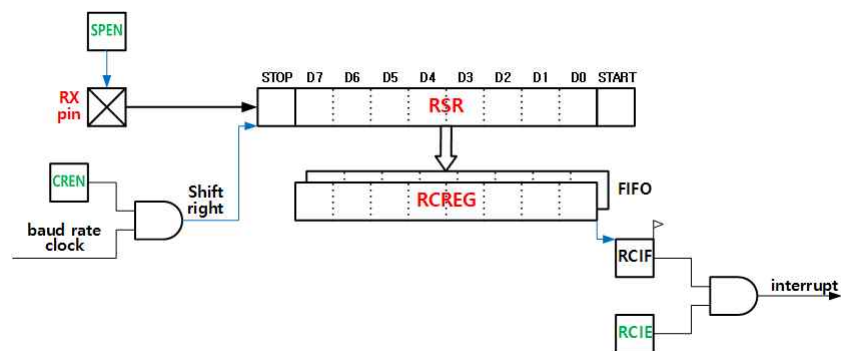
위해서는 사용자 프로그램에서 SPEN=1, SYNC=0, 송신시 TXEN=1, 수신시 CREN=1 로 설정해 주어야 한다. 그림 1에 본 논문에서 구현된 비동기식 전송 시뮬레이터의 송신/수신 하드웨어 구조 모델링을 나타내었고, 그림 2에는 송수신 타이밍도를 나타내었다.

3.1 데이터 송신

데이터 송신은 전송할 새 데이터를 TXREG 레지스터에 쓰면 시작된다. 만일 TSR 자리이동 레지스터가 비어 있으면 TXREG 레지스터에 써진 새 데이터는 바로 TSR 레지스터로 옮겨지고, TSR 자리이동 레지스터가 이전의 데이터를 전



(a) 비동기식 송신부 모델링 (a) Asynchronous transmission unit modeling



(b) 비동기식 수신부 모델링 (b) Asynchronous reception unit modeling

그림 1. 비동기식 송수신 하드웨어 모델링

Fig. 1. Asynchronous transmission/reception hardware modeling

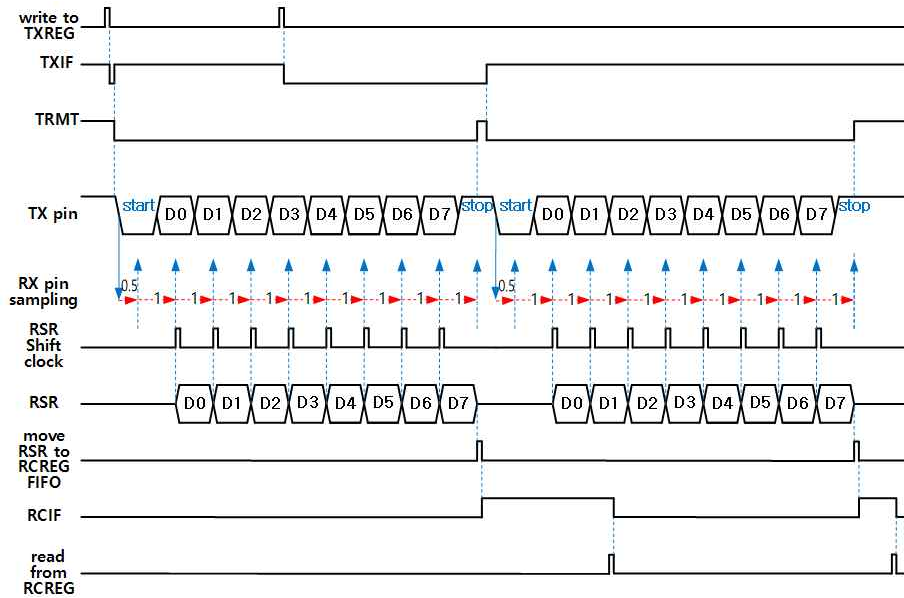


그림 2. 비동기식 송수신 타이밍도
Fig. 2. Asynchronous transmission/reception timing diagram

송 중이라면, 이 전송이 끝나서 STOP 비트가 전송될 때까지 새 데이터는 TXREG 레지스터에 머물러 있다가, STOP 비트 중간시점에 TSR 자리이동 레지스터로 옮겨진다. TXREG 레지스터의 데이터를 TSR 자리이동 레지스터로 옮기는 것은 1 명령 사이클(Tcycle) 시간이 걸리며, 따라서 TXREG 레지스터의 내용이 비어 있음을 나타내는 TXIF 플래그는, 만일 TSR 자리이동 레지스터가 비어 있는 상태에서 TXREG에 데이터가 쓰이는 경우에는 데이터 쓰인 시점부터 1 명령 사이클(Tcycle) 시간 동안 0이 되고, 만일 TSR 자리이동 레지스터가 전송 중인 상태에서 TXREG에 데이터가 쓰이는 경우에는 데이터가 쓰인 시점부터 STOP 비트의 중간시점까지 0이 된다. TRMT 플래그는 TSR 자리이동 레지스터가 비어 있음을 나타내는 플래그이며, TXREG에 들어있는 데이터를 TSR 자리이동 레지스터로 옮기고 난 시점부터 STOP 비트의 중간시점까지

0이 된다. 실제 비동기식 전송의 시작은 TSR 자리이동 레지스터에 데이터가 쓰이면 시작되며, 약속된 전송속도에 맞춰 START 비트, DATA 비트들, STOP 비트 순으로 송신된다. 송신되는 DATA 비트들은 TSR 자리이동 레지스터의 맨 우측 0번 비트부터 시작해서 한 비트씩 오른쪽으로 자리이동 되면서 차례로 TX핀을 통해 외부로 송신된다.

EUSART 송신 회로가 인에이블 되어 동작 중일 때, TXREG가 비면 TXIF 플래그는 무조건(즉, 인터럽트 사용 여부에 상관없이) 1이 된다. 만일 인터럽트를 사용하려면 TXIE 인터럽트 인에이블 플래그를 1로 설정(물론 GIE 전체 인터럽트 인에이블 비트도 1로 설정해야 함)해야 하고, 이 경우 TXIF 플래그가 1이 되면 마이크로컨트롤러가 정해진 인터럽트 서비스 루틴을 실행하게 된다. 따라서 인터럽트 서비스 루틴에서는 송신할 데이터를 TXREG 레지스터에 쓰도록 프

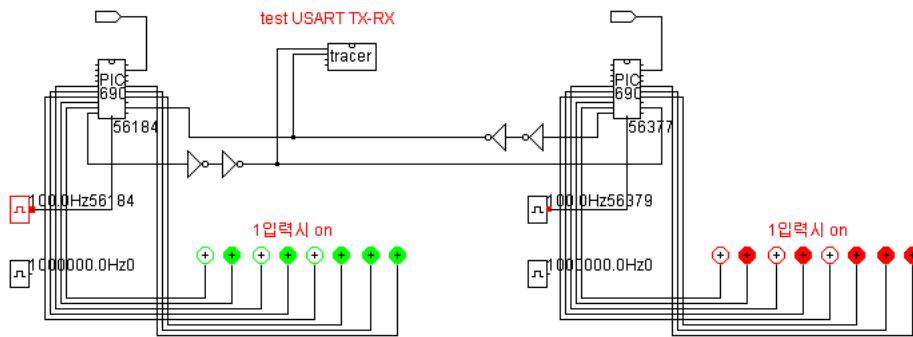
로그하면 될 것이다.

TRMT 플래그는 TSR 자리이동 레지스터가 비어 있을 때, 즉 송신 중이 아닐 때 1이 되며, 이 TRMT 플래그의 인터럽트 처리기능은 지원되지 않는다. 따라서 TSR 자리이동 레지스터의 동작 상태를 검사하기 위해서는 소프트웨어적인 방법으로 프로그램에서 TRMT 플래그 비트의 값을 확인해 보아야 한다. 참고로 PIC 마이크로컨트롤러의 TSR 자리이동 레지스터는 하드웨어 구성상 데이터 메모리에 매핑 되어있지 않기 때문에 사용자가 직접 액세스할 수 없어 값을 읽어보거나 쓸 수 없다.

3.2 데이터 수신

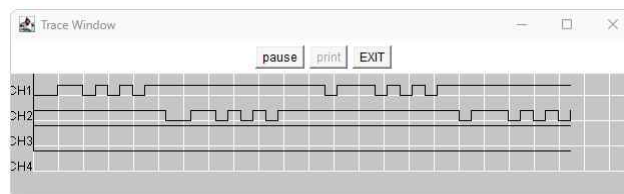
데이터 수신 동작은 다음과 같다.

RX 핀으로 수신되는 신호가 1에서 0으로 바뀌면 START 비트의 시작으로 판단하여 수신회로에 의해 수신 동작이 시작되며, 1.5 비트 타임이 경과한 시점부터 매 1비트 타임마다 약속된 데이터 비트 수 만큼 RX 핀으로 들어오는 값을 샘플링하여 수신 데이터 비트 값이 결정된다. 약속된 비트 수 만큼의 데이터 비트들을 수신 완료하면 2단계 FIFO 구조를 갖는 RCREG 레지스터에 수신 데이터가 옮겨지고, RCIF 플래그가 1로 된다. 만일 RCIF가 1이 되어 RCREG 레지스터에 수신한 데이터가 들어갈 때 인터럽트 처리를 원하면 사용자가 RCIE 와 GIE 인터럽트 인에이블 비트를 1로 설정해 주고, 인터럽트 서비스 루틴에서 RCREG 레지스터에 들어있는 수신 데이터를 적절하게 처리하도록 프로그램해 주면 된다.



(a) 비동기 전송 시뮬레이션 예제 회로

(a) Example circuit for asynchronous communication simulation



(b) 트레이서 동작 예

(b) Tracer operation example

그림 3. 비동기 전송 시뮬레이션을 위한 예제 회로

Fig. 3. Example circuit for asynchronous communication simulation

4. 비동기 전송 시뮬레이션

본 논문을 통해 개발된 비동기 전송방식 시뮬레이터의 기본적인 기능을 검증하기 위해 그림 3에 나타난 것과 같이 2개의 마이크로컨트롤러가 서로 데이터를 송수신할 수 있도록 연결한 회로를 구성하였다. 그림에서 각 마이크로컨트롤러의 10번 TX핀이 상대방 마이크로컨트롤러의 12번 RX핀에 연결된 것을 볼 수 있으며, 연결된 선상에서 분기하여 연결된 사각형 tracer 장치는 TX/RX 선의 값들을 실시간으로 추적하는 일종의 오실로스코프와 같은 역할을 수행하는 장치이다.

그림 4에는 데이터 송신(TX)을 담당하는 왼쪽 마이크로프로세서에서 수행되는 프로그램에 대

한 흐름도와 데이터 수신(RX)을 담당하는 오른쪽 마이크로프로세서에서 수행되는 프로그램에 대한 흐름도를 나타내었다.

왼쪽 마이크로컨트롤러는 그림 4 흐름도에서 TX 쪽으로 분기해서, 송신할 데이터를 디버깅을 위해 PORTC LED로 출력하고 동시에 이 데이터를 전송한 후, 응답 데이터를 수신하여 두 데이터가 같은지 비교해서 만일 다르다면 PORTC에 연결된 LED 들을 깜빡거리게 프로그램되었고, 오른쪽 마이크로컨트롤러는 흐름도에서 RX 쪽으로 분기해서, 데이터를 수신하면 수신한 데이터를 PORTC의 LED로 출력하고 또한 수신 데이터를 그대로 응답으로 되돌려주는 기능을 수행한다. 그림 3의 (b)에 나타난 트레이서 창 의 CH1에서 0x57 데이터가 LSb 비트부터 차례로 송신되고, CH2에서 이에 대한 동일한 응답 데이터가 수신

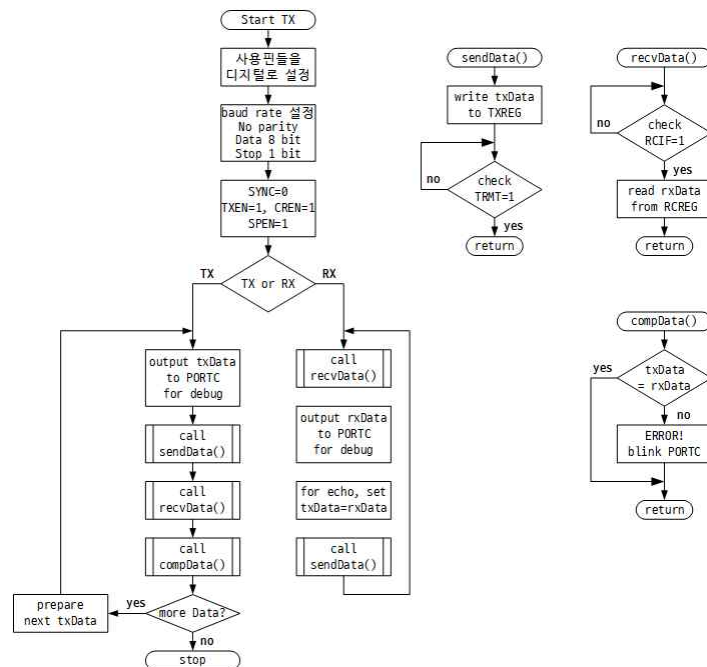


그림 4. 비동기 전송 시뮬레이션을 위한 예제 프로그램 흐름도
Fig. 4. Example program flowchart for asynchronous communication simulation

됨을 확인할 수 있다.

본 논문을 통해 개발된 비동기 전송방식 시뮬레이터는 기존의 시뮬레이터들과는 달리 객체 지향형 프로그래밍 언어를 사용해 마이크로프로세서의 각 핀들이 독립적인 객체로 모델링 되었고, 실시간 event-driven 방식으로 동작하도록 설계되었다. 사용자가 작성한 프로그램에서 TXREG 레지스터에 전송할 데이터를 쓰게 되면, 이 값이 TSR 자리이동 레지스터로 옮겨지고, 설정된 bit rate에 맞춰 한 자리씩 우측으로 값들이 이동되며, 맨 우측 비트의 값이 지정된 TX 핀 객체에 전달된다.

비동기 송신 시작을 알리는 START 비트 전송을 위해 TX 핀 객체의 값이 1에서 0으로 변화되는 이벤트가 발생하면, 연결된 선을 통해 수신 측 RX 핀 객체에 이벤트가 전달되고 수신 측 마이크로프로세서는 수신 동작을 시작하게 된다. 즉 이때부터 수신 측 마이크로프로세서는 정해진 bit rate에 맞춰 1.5 비트 시간 뒤부터 매 1비트 시간마다 RX 핀의 값을 검사하여 데이터 비트들을 차례로 수신한다.

5. 결 론

본 논문에서는 IT 융합 분야에서 널리 사용되고 있는 마이크로컨트롤러의 비동기식 전송방식 가상 시뮬레이션 기능을 구현하고, 가상 실험을 통해 기능을 검증하고, 유용성을 확인하였다. 개발된 비동기식 전송 시뮬레이터는 기존의 시뮬레이터들과는 달리 실시간 객체지향 event-driven 방식으로 동작하도록 설계되었으며, 실제 수업에서 2개의 마이크로컨트롤러가 데이터를 주고받는 가상 회로를 구성하고 각각의 마이크로컨트롤러에서 동작되는 데이터 송수신 프로그램을 작성해 실행시켜봄으로써 동작을 시험하고 기능을 검증

하였으며, 온라인 교육 적용에 대한 유용성을 확인하였다. 현재 개발된 비동기식 전송 시뮬레이터의 적용분야 확대를 위해 앞으로 가상 실험 소프트웨어가 수행되는 호스트 컴퓨터 시스템의 하드웨어와 가상 비동기 전송 시뮬레이터 간의 인터페이스를 추가 개발하고, 블루투스나 무선랜과 같은 무선 통신 시뮬레이션 기능 등도 추가 연구 개발되면 실험 실습 환경에 대한 시간적, 공간적 비용적 제약을 완화 시켜 교육 효과를 용이하게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Barr, Michael, "Embedded Systems Glossary", Online at <https://barrgroup.com/embedded-systems/glossary>, 2022.
- [2] Lawrence Williams, "Embedded Systems Tutorial: What is, History & Characteristics", Online at <https://www.guru99.com/embedded-systems-tutorial.html>, 2022.
- [3] S. S. So, K. A. Son, S. B. Eun, "A Taxonomy of Embedded Systems", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.24, Issue 6, pp.818-825, 2020. DOI : 10.6109/JKIICE.2020.24.6.818
- [4] S. J. Kim, "Project-based Embedded System Education Using Arduino", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.15 , No.12, pp.173-180, 2017. DOI : 10.14801/jkiit.2017.15.12.173
- [5] Mohammed Naim Khan, Namita Arya, Amit Prakash Singh, "A Comprehensive Testing Technique for Embedded System PCBA", Indian Journal of Science and Technology, Vol.10(30), August 2017. ISSN : 0974-6846, DOI : 10.17485/ijst/2017/v10i30/115526
- [6] Muhammad Ali Mazidi, Janice G. Mazidi, Rolin D. McKinlay, The 8051

- Microcontroller and Embedded Systems (2nd Edition), Pearson, Oct. 2005. ISBN-13 978-0131194021
- [7] Microchip, Microcontrollers (MCUs), 2022. <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors>
- [8] STMicroelectronics, Microcontrollers & Microprocessors, 2022. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors.html>
- [9] Texas Instrument, Microcontrollers (MCUs) & processors, 2022. <https://www.ti.com/microcontrollers-mcus-processors/overview.html>
- [10] Razzaqul Ahshan, "A Framework of Implementing Strategies for Active Student Engagement in Remote/Online Teaching and Learning during the COVID-19 Pandemic", Education Sciences, Vol.11(9), 2021. DOI : 10.3390/educsci11090483
- [11] Microchip, MPLAB X IDE, <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>, 2022.
- [12] Intel Quartus, <https://fpgasoftware.intel.com/>, 2022.
- [13] Xilinx, <https://www.xilinx.com/>, 2022.
- [14] Proteus, <https://www.labcenter.com/>, 2022.
- [15] Autodesk Inc., Tinkercad, <https://www.tinkercad.com/>, 2022.
- [16] J. G. Ki, K. Y. Kwon, "A Study on Simulation of Communication between Microcontroller and Peripherals", Proceedings of Korea Software Assessment and Valuation Society 37th Fall Conference, pp.157-158, 2022.11.

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



권기영(Kee-Young Kwon)

1981.2. 고려대 전자공학과 졸업
 1983.2. KAIST 전기및전자공학과 석사
 1988.2. KAIST 전기및전자공학과 박사
 1988.3.-1991.2 (주)삼성전자 기흥 반도체연
 구소 선임연구원
 1991.3.-현재 공주대학교 공과대학 전기전
 자제어공학부 교수
 2000.3.-2001.2. Southern Methodist
 University 방문교수
 <주관심분야> 반도체, 광통신