

MCU 교육을 위한 펌웨어 다운로드 개발

문정호*, 조명석*, 이상민*
 *강릉원주대학교 전자공학과
 e-mail : itsmoon@gwnu.ac.kr

Development of a Firmware Downloader for Educational Purposes

Jungho Moon*, Myung-Suk Jo*, Sangmin Lee*

*Dept. of Electrical Engineering, Gangneung-Wonju National University

요 약

이 논문은 MCU 교육 목적으로 개발한 AVR MCU용 부트로더 및 이와 통신 프로토콜을 공유하는 PC용 펌웨어 다운로드 프로그램에 소개한다. 저자들의 학과에서는 학생들의 MCU 교육을 위해 학과의 수업 내용에 적합한 MCU 실습보드를 직접 설계하여 사용하고 있다. 이 실습보드는 학생들이 휴대할 수 있도록 제작하였기 때문에, 별도의 ISP 장비 없이 직렬 통신 인터페이스를 통해 PC에서 펌웨어를 다운로드할 수 있도록 하고 있다. 이를 위해 AVR MCU용 부트로더와 펌웨어를 다운로드할 수 있는 PC용 프로그램도 자체 개발하였다. 펌웨어 다운로드 프로그램은 다운로드 모드와 터미널 모드에서 동작하는데 현재의 상황에 맞게 모드 전환이 자동으로 이루어지므로 직렬 포트를 열고 닫거나 모드를 전환할 필요가 없기 때문에 개발자에게 더욱 편리한 개발환경을 제공한다.

1. 서론

MCU는 임베디드 시스템의 가장 중요한 구성 요소이므로 임베디드 시스템과 관련된 대부분의 학과에서는 다양한 종류의 MCU를 사용하여 전공 교육을 진행하고 있다. 8 비트 디바이스부터 32 비트 고성능 디바이스까지 매우 다양한 MCU가 시장에서 판매되고 있는데 교육에 사용할 MCU의 선택은 전공과목에서 가르치는 수준과 밀접한 관련이 있다. 초급 과목에서는 대부분 8 비트 MCU를 사용하여 교육을 진행한다. 8 비트 MCU는 사용이 쉽고 이해하기 쉬우며 일단 8 비트 MCU의 동작 원리를 이해한다면 32 비트 고성능 MCU를 사용하는 것도 크게 어려운 일은 아니기 때문이다.

Atmel사에서 개발한 8 비트 AVR MCU는 작은 임베디드 시스템에서 많이 사용되고 있는 MCU 중 하나이다 [1]. AVR MCU 중 일부는 Arduino 플랫폼으로 사용되고 있다 [2]. AVR MCU의 플래쉬 메모리 프로그램을 위해서는 일반적으로 ISP라고 하는 전용 장비가 필요하다 [3]. AVR의 내부 플래쉬는 RWW와 NRWW 두 개의 섹션으로 구성되어 있는데 NRWW 섹션에 위치한 프로그램을 실행시키면서 RWW 섹션의 내용을 프로그램하는 것이 가능하도록 되어 있다 [1] 그러므로 일단 부트로더 (bootloader)를 NRWW 섹션에 설치했다면 ISP 없이도 부트로더를 사용해서 내부 플래쉬 메모리를 프로그램하는 것이 가능하다 [4].

저자들의 학과에서 개설하고 있는 초급 마이크로컨트롤러 과목에서도 AVR MCU를 사용하여 실습을 진행한다. 이 과목의 실습을 위해서 학과에서 전용 MCU 실습보드를 설계·제작하였으며 이 과목을 수강

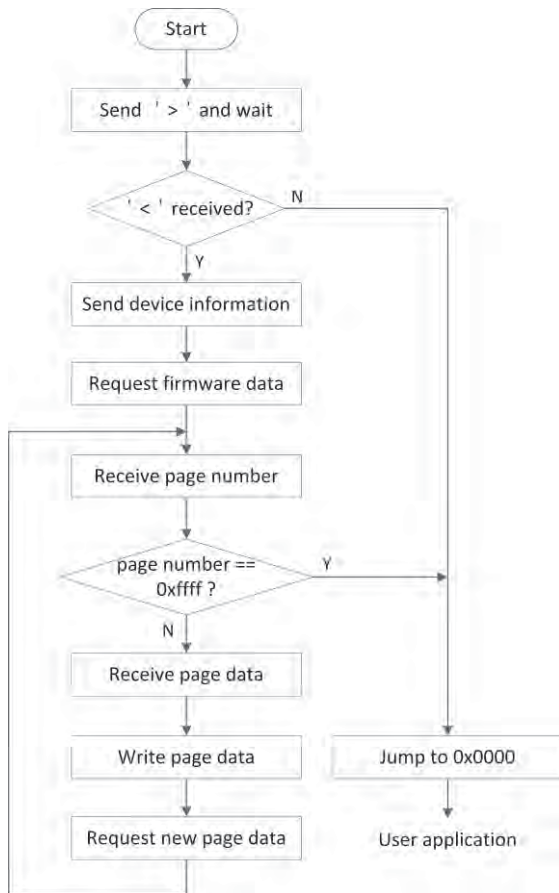
하는 학생들에게 1인당 1개의 보드를 지급하여 언제 어디서든 실습을 할 수 있도록 하고 있다. 실습보드는 작은 ATmega1281 MCU 보드와 그 MCU 보드의 출력을 확장할 수 있는 확장 보드로 구성되어 있으며 PC의 USB 포트로 전원을 공급한다. 휴대용으로 만들었기 때문에 학생들은 시간과 장소의 제한 없이 언제 어디서든 실습을 진행할 수 있다.

학생들이 들고 다닐 수 있도록 설계했다는 점을 고려할 때 실습보드를 프로그램하기 위해서 추가의 ISP 장비를 사용하는 것보다는 MCU 보드에 존재하는 직렬 통신 인터페이스와 부트로더 기능을 사용하는 것이 더 합리적이라고 할 수 있다. AVR MCU는 내부에 부트로더를 설치할 수 있는 기능을 가지고 있기는 하지만 부트로더가 설치되어 있지는 않기 때문에 사용자가 자신의 목적에 맞도록 부트로더를 만들어야 한다. 또한 부트로더와 통신하면서 사용자 펌웨어를 다운로드할 수 있는 PC용 다운로드 프로그램도 필요하다. 그렇기 때문에 저자들은 실습보드용 부트로더와 함께 이와 통신이 가능한 펌웨어 다운로드 프로그램을 개발하였다. 미리 실습보드에 부트로더를 설치해서 학생들에게 배포하기 때문에 학생들이 별도의 ISP 장비 없이 자신들의 프로그램을 실습보드에 다운로드하여 그 결과를 확인할 수 있다.

이 논문은 저자들의 학과에서 사용중인 MCU 실습보드용으로 개발한 부트로더와 이 부트로더와 호환되는 펌웨어 다운로드 프로그램의 개발 내용에 관해서 소개한다. 특히 기존의 불편함을 해소하고 더욱 편리한 개발환경을 제공할 수 있는 다운로드 프로그램의 특징에 대해 설명한다.

2. 부트로더 (bootloader)

공장에서 출하된 직후 AVR의 리셋 벡터는 0 번지를 가리킨다. 부트로더를 사용하기 위해서 부트로더를 AVR MCU의 내부 플래쉬 메모리의 NRWW 섹션에 설치해야 하며 리셋 벡터가 NRWW 섹션의 부트로더를 가리키도록 AVR의 fuse를 설정을 변경해야 한다 [1]. 이렇게 설정하면 MCU가 리셋 상태에서 벗어났을 때 제일 먼저 부트로더를 실행하며 부트로더가 필요한 작업을 마친 다음 모든 내부 레지스터를 초기화시킨 후 사용자 펌웨어로 분기한다. 부트로더의 크기를 가능한 작게 만들기 위해서 C와 assembly를 혼합해서 코드를 작성하였다. 그림 2 는 개발한 부트로더의 동작을 설명하는 순서도이다.



(그림 1) 부트로더의 순서도

MCU가 리셋된 다음 부트로더가 실행되면 미리 정의한 ASCII 문자 '>'를 직렬 통신 인터페이스로 전송한 다음 ASCII 문자 '<'가 수신되는지 일정한 시간 동안 기다린다. 정해진 시간 안에 '<' 문자가 수신되지 않으면 PC의 다운로드 프로그램이 연결되어 있지 않다는 의미이므로 부트로더는 RWW 섹션에 저장되어 있는 사용자 펌웨어로 제어를 넘긴다. 이 순간부터 RWW 섹션의 사용자 펌웨어가 동작을 시작한다. 만일 부트로더가 정해진 문자를 수신했다면 이것은 PC의 다운로드 프로그램이 응답한 것으로 다운로드할 새로운 펌웨어가 있다는 뜻이다. 이 경우에 부트로더는 그림 1 의 순서도에 따라 PC의 다운로드 프

그램과 통신하면서 새로운 펌웨어를 수신하여 RWW 섹션에 기록한다. 새로운 펌웨어의 기록이 끝나면 부트로더는 RWW 섹션의 사용자 펌웨어로 제어를 넘기며 이때부터 새로운 사용자 펌웨어가 동작을 시작하게 된다. 그 과정은 다음과 같다.

정해진 시간 내에 문자 '<'를 받으면, MCU는 그 응답으로 자신의 디바이스 정보와 함께 펌웨어 전송을 요청하는 문자를 PC의 다운로드 프로그램으로 보낸다. 부트로더가 전송하는 디바이스 정보에는 MCU 이름, 플래쉬 메모리 크기, 플래쉬 메모리 페이지 크기 등이 포함된다. PC의 다운로드 프로그램이 이 정보를 수신하면, 페이지 번호와 함께 그 페이지 내에 기록할 펌웨어 데이터를 MCU의 부트로더로 전송한다. 펌웨어 데이터 전송은 페이지 단위로 진행된다. 즉 한 페이지 분량의 데이터를 플래쉬 메모리에 기록 완료했다면, 부트로더는 다음 페이지 데이터 전송을 요청하는 문자를 PC로 보내며, PC의 다운로드 프로그램은 이 요청을 받은 후 그 다음 페이지의 내용을 페이지 번호와 함께 보낸다.

MCU의 부트로더와 다운로드 프로그램이 통신을 진행하면서 이 과정을 반복하면서 MCU의 내부 플래쉬 메모리에 펌웨어를 기록한다. 더 이상 보낼 펌웨어 데이터가 없으면 다운로드 프로그램은 다음 페이지 번호로 0xFFFF로 보내는데 이 값은 실제 페이지 번호가 아니라 이제 데이터 전송을 끝낸다는 약속이다. 이 값을 페이지 번호로 받은 부트로더는 플래쉬 프로그래밍을 끝내고 사용자 펌웨어가 시작되는 0 번지로 분기하여 사용자 펌웨어의 실행을 시작하게 된다.

MCU 내부 플래쉬 메모리 이외에도 내부 EEPROM이나 lockbit도 마찬가지로 방법으로 프로그램할 수 있다. 부트로더가 이러한 기능을 모두 포함하면 부트로더의 크기가 증가한다. 수업용으로는 이런 추가 기능을 사용할 일이 거의 없기 때문에 저자들이 개발한 부트로더는 이런 기능을 포함하지 않았다.

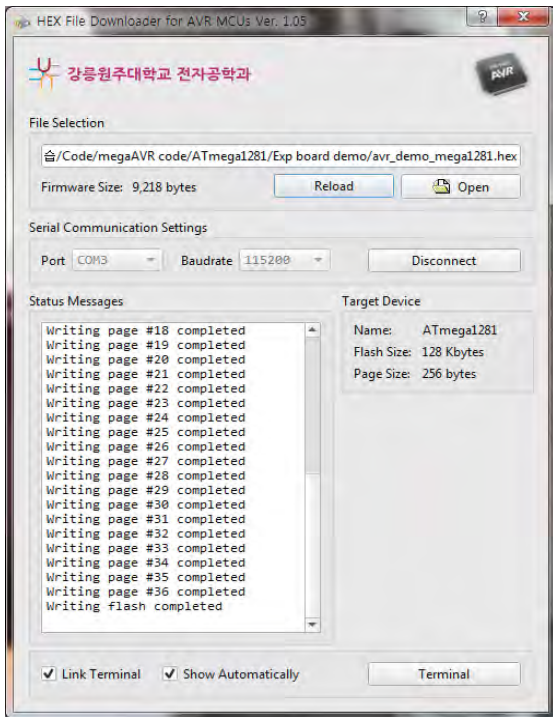
3. 펌웨어 다운로드 프로그램 (Firmware Downloader)

앞에서 설명했듯이 MCU에 기록된 부트로더가 동작하기 위해서는 PC에서 실행되면서 부트로더가 필요로 하는 포맷에 맞게 사용자 펌웨어를 다운로드해주는 다운로드 프로그램도 필요하다. 저자들은 Python을 사용하여 프로그램을 개발하였다. Python은 인터프리터 기반의 언어이지만 이를 컴파일하면 C++로 개발한 것처럼 단독으로 실행가능한 실행 파일을 생성할 수 있다 [5]. 아래 그림 2는 개발한 다운로드 프로그램의 실행 이미지이다.

다운로더 프로그램은 다운로드 모드와 직렬 통신 터미널 모드의 두 가지 동작 모드를 가지고 있다. 다운로드 모드에서 그림 1의 통신 프로토콜에 따라 사용자가 선택한 펌웨어 파일을 MCU의 부트로더로 다운로드하는 역할을 수행한다. MCU로부터 수신한 디바이스 정보를 화면 오른쪽에 표시하며, 펌웨어 다운로드 진행과정을 화면 왼쪽에 표시해준다. 터미널 모드에서 프로그램은 MCU에서 전송되어 오는 ASCII

문자를 보여주고 사용자가 입력한 문자를 MCU로 전송하는 터미널로 동작한다.

그림 1에 제시된 통신 프로토콜은 MegaLoad에서 사용하는 프로토콜과 호환성을 가진다. MegaLoad는 마이크로소프트의 .NET 플랫폼에서 개발된 프로그램으로 별도의 비용 없이 무료로 사용가능한 프로그램이다 [6]. 따라서 MegaLoad를 사용해도 AVR 실습보드로 펌웨어를 다운로드하는 것은 가능하다. 하지만 저자들이 개발한 다운로드 프로그램은 사용자가 더 편리하게 사용할 수 있는 추가 기능을 가지고 있다.

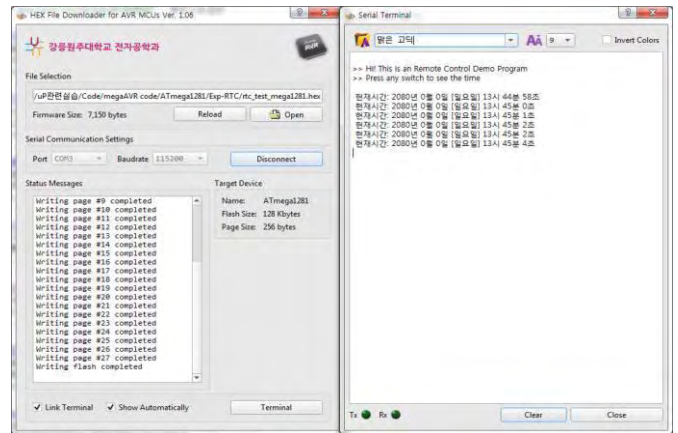


(그림 2) 다운로드 프로그램의 실행 이미지

만일 사용자 펌웨어가 펌웨어 다운로드용으로 사용하는 동일한 직렬 포트를 통신용으로 사용한다면, 펌웨어 다운로드를 끝낸 다음 다운로드 프로그램의 직렬 포트를 닫아야 한다. 포트를 닫지 않으면 사용자 펌웨어가 PC의 다른 터미널 프로그램과 통신할 수 없기 때문이다. 따라서 프로그래머는 펌웨어를 다운로드 할 때마다 사용중이던 PC용 터미널 프로그램의 포트를 닫고 다운로드 프로그램의 포트를 열어야 하며, 다운로드가 끝난 다음에는 반대로 다운로드가 사용하는 포트를 닫고 PC의 다른 터미널에서 포트를 여는 동작을 계속 반복하게 되는데 이런 포트 전환은 단순하지만 매우 번거로운 작업이다.

저자들이 개발한 다운로드 프로그램에는 직렬 통신용으로 사용할 수 있는 터미널이 포함되어 있어서 사용자가 별도의 터미널 프로그램을 사용할 필요가 없다. 또한 상황에 맞게 터미널 모드와 다운로드 모드의 전환이 자동으로 진행되므로 사용자에게 보다 편리한 개발환경을 제공한다. 다운로드를 처음 실행하면 그림 2에서처럼 단순히 다운로드 윈도우만 나타나며 직렬 터미널은 열리지 않는다. 이 상황에서 프로

그램은 다운로드 모드로 동작한다. 그림 2의 윈도우 오른쪽 아래에 있는 터미널 버튼을 누르면 그림 3에서처럼 터미널이 열리는데 터미널이 열려 있는 동안 프로그램은 다운로드 모드가 아닌 터미널 모드에서 동작한다.



(그림 3) 터미널 모드

터미널 윈도우가 열려있는 상태에서 다운로드 프로그램은 MCU의 부트로더와 통신하는 것이 아니라 사용자 펌웨어와 통신하기 때문에 MCU 보드로부터 수신되는 ASCII 문자를 터미널에 표시하며 또한 사용자가 입력한 ASCII 문자를 MCU로 전송하는 역할을 한다. 현재의 동작 모드와 상관없이 다운로드 프로그램은 직렬포트로 새로운 데이터가 수신되는지 여부를 계속 확인해야 한다. 또한 데이터를 기다리는 동안에도 GUI는 사용자 입력을 계속 받아야 한다. 그렇기 때문에 다운로드 프로그램은 멀티 스레드 (multi-threaded) 방식을 사용하여 구현하였다.

사용자가 펌웨어를 수정하고 다시 빌드했다면 펌웨어를 MCU로 다시 다운로드해야 하는데 이를 위해서 사용자는 터미널 윈도우를 닫아야 한다. 터미널 윈도우가 열려 있지 않은 동안에만 다운로드 모드로 동작하기 때문이다. 그리고 다운로드가 끝나면 다시 터미널을 사용하기 위해 터미널 윈도우를 열게 된다. 저자들의 프로그램에서 사용자가 'Show automatically' 체크 박스를 선택한 경우 이 동작이 자동으로 진행된다. Reload 버튼을 사용하여 기존의 펌웨어 파일과 같은 이름을 가진 파일을 새로 로드하거나, Open 버튼을 사용하여 다른 이름의 파일을 로드하는 순간, 터미널 윈도우는 자동으로 닫히며 이 때부터 프로그램은 다운로드 모드에서 동작한다. 펌웨어 다운로드를 끝내는 순간, 터미널 윈도우가 자동으로 열리며 이때부터 프로그램은 터미널 모드에서 동작한다. 따라서 사용자는 수동으로 모드 전환을 할 필요가 없기 때문에 펌웨어를 자주 수정하는 경우 매우 편리하게 사용할 수 있다.

다운로더 프로그램은 순수하게 Python으로 작성되었기 때문에 운영체제와 거의 독립적이다. 따라서 그림 2와 3에 제시된 실행 파일은 MS Windows에서만 동작을 검증하였으나 소스코드를 수정하지 않고도

Linux와 같은 다른 운영체제에서 동작하는 실행 파일을 쉽게 생성할 수 있다.

4. 결론

이 논문에서는 AVR MCU 교육용으로 사용할 수 있는 부트로더와 PC에서 실행되며 MCU와 통신하면서 펌웨어를 다운로드할 수 있는 다운로드더의 개발에 대해 소개하였다. 이 논문에서 소개한 다운로드더는 내부에 직렬 터미널 기능을 가지고 있기 때문에 펌웨어가 직렬 통신을 필요로 하는 경우 별도의 터미널 프로그램을 사용할 필요가 없다. 또한 펌웨어 다운로드 동작 후 터미널을 사용할 때 필요한 포트 전환 작업이나 터미널 윈도우를 열고 닫는 기능을 자동화시켜 사용자가 번거롭게 포트를 열고 닫거나 터미널 윈도우를 열고 닫는 일이 없이 편하게 작업을 할 수 있도록 편리한 개발환경을 제공한다.

참고문헌

- [1] Atmel Corporation, *ATmega128 Complete Datasheet*, 2011.
- [2] ‘Arduino’, Available: <https://www.arduino.cc/>. (Accessed 01-May-2018).
- [3] Atmel Corporation, *AVRISP mkII User Guide*, 2016.
- [4] Atmel Corporation, *Atmel AVR 2054: Serial Bootloader User Guide*, 2015.
- [5] B. Lubanovic, *Introducing Python: Modern Computing in Simple Packages*, O’Reilly, 2014.
- [6] ‘MegaLoad by MicroSyl’, Available: <http://www.microsyl.com/index.php/2010/03/30/megaload/>. (Accessed 01-May-2018).