

논문 2023-18-04

USB 플래시 드라이브를 이용한 DSP 펌웨어 업데이트 (DSP Firmware Update Using USB Flash Drive)

김진순, 최준영*

(Jin-Sun Kim, Joon-Young Choi)

Abstract : We propose a method to update DSP (Digital Signal Processor) firmware using USB (Universal Serial Bus) flash drives. The DSP automatically detects USB drives based on an interrupt when the USB drive is inserted into the USB port. The new firmware binary file is found in the mounted USB drive, and the destination address of DSP flash memory is identified for the firmware update writing by investigating the firmware file header. After the new firmware is written to the DSP flash memory, the DSP is reset and rebooted with the newly updated firmware. By employing TI's TMS320F28379D control card with USB ports, we conduct experiments and verify the normal operation of the implemented method.

Keywords : DSP, Firmware Update, Flash Memory, USB Flash Drive

1. 서론

DSP (Digital Signal Processor)는 아날로그 신호를 0과 1로 표시되는 디지털 신호로 변환하여 고속 처리 및 연산을 하는 프로세서이다. 초기의 DSP는 컴퓨터의 연산 기능을 보조하며 간단한 영상 및 음향처리, 모터제어 등에 사용되었다. 또한, 주로 연산 기능만 가지고 있어서 외부 메모리 및 주변장치를 이용해야만 했다. 최근에는 주요 주변 장치들이 칩 안에 내장된 DSP가 출시되어 산업, 가전, 인공지능, 전기자동차 등 다양한 곳에서 사용되고 있으며 수요는 점점 더 증가하고 있다 [1-3].

펌웨어 (Firmware)란 상호 작용하는 하드웨어 내부 메모리 공간에 있는 로우레벨의 소프트웨어로서 하드웨어를 구동 및 제어하기 위하여 사용된다 [4]. 일반적으로 과거에는 주로 ROM (Read Only Memory)에 펌웨어를 기록하였지만, 기능을 추가하거나 수정하는 것이 불가능하거나 어렵다는 단점이 있다. 오늘날에는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 PROM (Programmable Read Only Memory) 및 플래시 메모리에 펌웨어를 기록하고 있고 필요할 때마다 펌웨어 업데이트를 진행하여 사용자가 원하는 새로운 기능을 추가할 수 있다.

DSP 기반 시스템은 일종의 임베디드 시스템으로 새로운 기능을 추가하거나 잘못 구현된 기능을 수정하기 위하여 기존 응용프로그램을 업데이트할 수 있는 것이 중요하며 이를 위한 펌웨어 업데이트 기능은 필수기능이다. 최근에는 DSP에도 무선 통신을 활용하여 펌웨어를 업데이트하는 FOTA (Firmware Over The Air) 방식이 점점 활용되고 있다. 그러나, 적용되는 DSP 시스템에 무선 통신 모듈이 장착되어

있어야 하고 무선으로 데이터가 전송되어 보안에 취약하다는 단점이 있다 [5]. 또한, PC와 DSP를 USB 또는 시리얼 통신으로 연결하여 DSP 펌웨어를 업데이트하는 방법도 사용되고 있다. 이 방법은 PC와 DSP 사이의 연결이 필수적이며 별도의 PC 프로그램을 사용하여 펌웨어 업데이트 파일을 DSP로 전송한다. 이후 DSP는 전송받은 펌웨어 업데이트 파일을 읽어 플래시 메모리에 쓰기 동작을 수행함으로써 펌웨어 업데이트는 완료된다 [6, 7].

이러한 기존 업데이트 방법은 PC와 펌웨어 파일 전송 프로그램이 필요하고 과정이 복잡하여 실제 산업 현장의 제품 생산 및 관리에서 사용하기에는 비효율적이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 USB 플래시 드라이브를 DSP에 체결하면 펌웨어 업데이트가 자동으로 진행되고 완료 후 바로 새로 업데이트된 펌웨어 파일로 시스템이 재실행되는 간편하고 편리한 방법을 제안한다.

제안하는 펌웨어 업데이트 방법에 사용할 DSP 보드는 TI (Texas Instruments)사의 TMS320F28379D Control Card이다. 프로그램은 TMS320F28379D Control Card에 펌웨어 업데이트 바이너리 파일이 있는 USB 플래시 드라이브를 체결하면 DSP가 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 찾아서 읽고 플래시 메모리에 쓰게 된다. 모든 파일을 다 쓰고 난 이후에 소프트웨어 초기화 및 재부팅을 진행하여 업데이트된 펌웨어 프로그램의 동작을 확인하여 성능을 검증한다. 이러한 펌웨어 업데이트 방법은 다른 종류의 DSP 시스템에도 쉽게 적용하여 사용할 수 있다.

전체 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DSP 펌웨어를 업데이트하는데 필요한 구성요소인 TMS320F28379D Control Card 및 펌웨어 업데이트 바이너리 파일과 제안하는 펌웨어 업데이트 시스템 모델에 관하여 설명한다. III 장에서는 PC에서 TI사의 CCS (Code Composer Studio) 통합 개발환경을 사용하여 펌웨어 업데이트 프로그램을 구현하고

*Corresponding Author (jyc@pusan.ac.kr)

Received: Nov. 8, 2022, Revised: Dec. 1, 2022, Accepted: Dec. 22, 2022.

J. S. Kim: Pusan National University (M.S. Student)

J. Y. Choi: Pusan National University (Prof.)

※ 본 연구는 산업통상자원부 (MOTIE) 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (No. 20012815).



그림 1. TMS320F28379D 제어 카드
Fig. 1. TMS320F28379D Control Card

IV 장에서는 시험환경을 구축하여 구현한 펌웨어 업데이트 프로그램을 실험하고 결과를 분석한다. 마지막 IV장에서는 결론을 도출한다.

II. USB 기반 펌웨어 업데이트 시스템

본 장에서는 DSP 펌웨어 업데이트에 사용되는 TMS320F28379D Control Card와 펌웨어 업데이트 바이너리 파일에 관하여 설명한다. 또한, 제안하는 펌웨어 업데이트 시스템 모델을 그림으로 도식화하고 장치 연결 및 동작 원리에 관하여 설명한다.

1. TMS320F28379D Control Card

펌웨어 업데이트를 진행할 DSP 보드는 전력전자 제어용으로 많이 사용되고 있는 그림1의 TI社 TMS320F28379D Control Card이다. 2개의 TMS320C28x 32-bits CPU를 사용하고 있으며 각각의 코어는 200MHz의 속도로 신호를 처리한다. 또한, 1024KB의 플래시 메모리가 칩 안에 있으며 USB2.0, SCI/UART, CAN, I2C, SPI 등 다양한 통신인터페이스를 제공한다.

TMS320F28379D Control Card에 USB 플래시 드라이브를 사용하기 위해서는 OTG (On The Go) 커넥터를 사용하여 USB 플래시 드라이브를 체결하고 USB 마이크로 핀에 체결하여 사용한다 [8].

2. 펌웨어 업데이트 바이너리 파일

제안하는 펌웨어 업데이트를 위하여 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 사용하여 진행한다. 표1은 바이너리 파일을 16진수로 변환한 구조와 2바이트 단위로 데이터에 관한 설명을 나타낸다. 맨 처음 2바이트는 키값을 나타낸다. 이 키값이 일치하지 않으면 이후의 데이터를 읽지 않고 바로 플래시 메모리로 이동하게 된다. 3~18번째 바이트의 0x0000의 값들은 레지스터값을 초기화하거나 부트로더를 위해 사용된다. 만약 부트로더가 사용하지 않는다면 값을 읽고 버리게 된다. 19~22번째 바이트 값들은 프로그램이 시작되는 주소인 0xAABCCDD를 나타낸다. 이후의 바이트 값들은

표 1. 바이너리 파일 구조 및 설명

Table 1. Binary file structure and description

Bytes	First Byte	Second Byte	Description
1	AA	08	Key Value
3	00	00	reserved
5	00	00	reserved
7	00	00	reserved
9	00	00	reserved
11	00	00	reserved
13	00	00	reserved
15	00	00	reserved
17	00	00	reserved
19	BB	AA	Entry point
21	DD	CC	Entry point
23	NN	MM	Block size of first block
25	FF	EE	First block Destination address
27	HH	GG	First block Destination address
29	BB	AA	First word of first block
...
...	Data
...
...	BB	AA	Last word of first block
...
n+1	00	00	indicates end of the file

데이터 블록의 크기, 데이터 블록이 로드되는 목적지 주소, 값들을 나타낸다. 23~24번째 바이트 값들이 첫 번째 데이터 블록의 0xMMNN 크기를 나타낸다. 25~28번째 바이트 값들이 0xEEFFGGHH은 첫 번째 데이터 블록 크기의 값들이 로드되는 목적지 주소이다. 29번째 바이트부터는 목적지 주소에 로드되는 데이터들을 나타낸다. 첫 번째 목적지 주소에 데이터 로드 과정이 끝나면 반복하여 이후의 목적지 주소에 데이터를 로드한다. 이 과정이 끝나면 마지막 n+1~n+2번째 바이트 값 0x0000이 나오게 되고 완료되었음을 나타낸다 [9].

3. DSP 펌웨어 업데이트 시스템 모델

USB 플래시 드라이브를 이용한 TMS320F28379D DSP 펌웨어 시스템 모델은 그림2와 같다. USB 플래시 드라이브에는 TMS320F2837xD 시리즈에서 동작하는 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 저장한다. 파일을 저장한 후에 USB 플래시 드라이브를 TMS320F28379D Control Card에 체결한다. 또한, USB 커넥터를 사용하여 PC와 연결하여 UART 통신으로 사용하고 PC에서 Tera Term 단말 에뮬레이터 터미널 창을 연다. 모든 장치 연결이 끝나면 CCS 디버거로 펌웨어 업데이트 프로그램을 플래시한다. 프로그램을 실행하면 Tera Term 단말 에뮬레이터 터미널 창에서 USB 플래시 드라이브 체결 여부를 메시지로 확인할 수 있고 커맨드를 입력하여 펌웨어 업데이트를 시작할 수 있다.

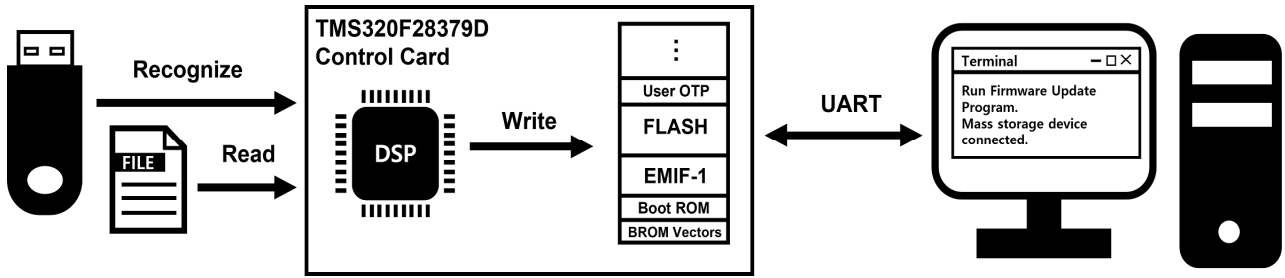


그림 2. TMS320F28379D DSP 펌웨어 업데이트 시스템 모델
Fig. 2. TMS320F28379D DSP Firmware update system model

III. 펌웨어 업데이트 프로그램 구현

Window 운영체제 기반의 PC에 TI社의 CCS 통합 개발 환경을 사용하여 그림3 순서도를 바탕으로 펌웨어 업데이트 프로그램을 구현하고 해당 프로그램은 TMS320F28379D Control Card의 2개의 CPU 중에 CPU1의 펌웨어를 업데이트하며 모든 업데이트 과정은 CPU1에서 실행된다.

프로그램에서 USB 플래시 드라이브 장치를 인식하기 앞서 GPIO, 클럭, USB 플래시 드라이브 장치 등에 관련된 설정을 초기화하고 설정한다. 설정을 완료한 후에 USB 플래시 드라이브가 USB 포트에 체결되면 인터럽트가 발생하며 USB 플래시 드라이브 체결 상태가 활성화된다. 이때 응용프로그램에서는 USB HOST Controller API 함수를 사용하여 USB 플래시 드라이브 체결 상태를 확인한다. 이 과정에서 인터럽트 관련 코드와 USB HOST Controller API 함수는 TI社에서 제공한 코드를 사용한다. 장치가 체결되지 않으면 다음 단계로 넘어가지 않고 반복문을 통해 대기하고 장치를 체결하면 인터럽트가 발생하여 장치의 체결 상태를 변화시켜 다음 단계로 넘어가게 된다.

이 과정에서 시리얼 통신을 통하여 USB 플래시 드라이브 체결 상태를 PC의 Tera Term 단말 에뮬레이터 터미널 창을 통해서 확인할 수 있도록 메시지를 출력할 수 있게 한다. 또한, USB 플래시 드라이브가 체결되면 터미널 창에 Y 혹은 y를 입력하여 장치 안의 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 찾고 펌웨어 업데이트를 시작한다. 만약 Y 혹은 y 이외의 커맨드를 입력하게 되면 오류 메시지를 출력하고 다시 커맨드를 입력할 수 있도록 설정한다.

펌웨어 업데이트를 시작하면 설정한 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 찾는다. 발견한 펌웨어 업데이트 바이너리 파일의 처음 2바이트를 읽어 키값 0x08AA을 확인한다. 확인 후 키값이 다르면 오류를 발생하여 프로그램을 중단하고 일치하면 다음 16바이트의 예약어 0x0000을 읽는데 해당 프로그램에서는 사용하지 않으므로 넘어간다. 그런 다음 프로그램 시작 주소인 2바이트를 읽어 버퍼에 저장한 다음 펌웨어 업데이트 과정이 끝나면 해당 주소로 펌웨어 업데이트 완료 후 프로그램이 시작할 수 있도록 한다. 이 과정이 끝나면 첫 번째 데이터 블록의 크기를 나타내는 2바이트의 값과 플래시 메모리 목적지 주솟값을 나타내는 4바이트의 값

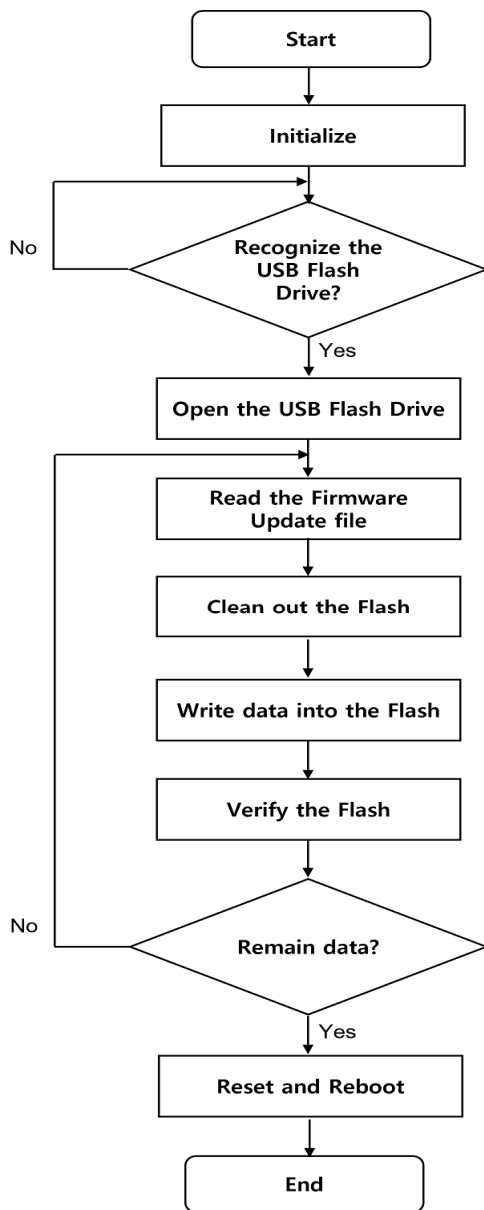


그림 3. 펌웨어 업데이트 프로그램 순서도
Fig. 3. Firmware Update Program Flow Chart



그림 7. Tera Term 터미널 창
Fig. 7. Tera Term terminal window

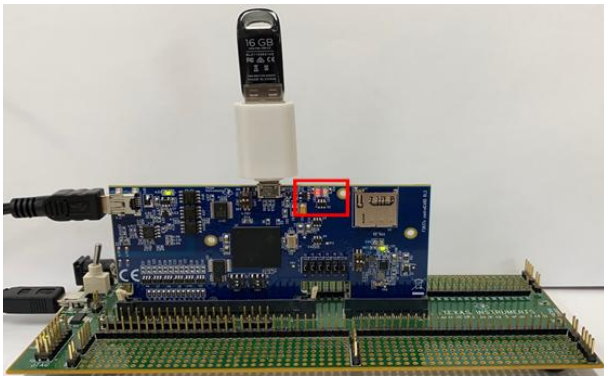


그림 8. 펌웨어 업데이트 결과
Fig. 8. Firmware Update Result

USB 플래시 드라이브를 체결하여 인식되면 ‘Mass storage device connected’라는 메시지가 출력되며 체결된 USB 플래시 드라이브를 제거하게 되면 ‘Mass storage device disconnected’라는 메시지가 출력된다. 펌웨어 업데이트를 위하여 다시 USB 플래시 드라이브를 체결하고 ‘Do you want DSP firmware Update?’ 메시지에 Y 혹은 y 커맨드를 입력한다. 커맨드를 입력하고 나면 구현한 프로그램을 바탕으로 펌웨어 업데이트가 시작된다.

펌웨어 업데이트 프로그램이 성공적으로 LED 점멸 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 읽어 플래시 메모리에 모두 쓰게 되면 그림8과 같이 소프트웨어 초기화 및 재부팅 후에 TMS320F28379D Control Card의 LD2이 점멸되는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다양한 분야에서 사용되고 있는 DSP를 USB 플래시 드라이브를 통하여 간편하게 펌웨어 업데이트 하는 방법을 제안한다.

제안한 방법을 검증하기 위하여 2개의 TMS320C28x

32-bits CPU가 있고 USB 플래시 드라이브 장치 체결이 가능한 TMS320F28379D Control Card와 TMS320F2837xD CPU1 LED 점멸 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 사용하였다. 이를 바탕으로 CCS를 이용하여 펌웨어 업데이트 바이너리 파일을 읽고 플래시 메모리에 쓰는 펌웨어 업데이트 프로그램을 구현하였다. 소프트웨어 초기화 및 재부팅을 통하여 플래시 메모리에서 실행되는 LED 점멸 프로그램의 성능을 확인하고 검증하였다.

제안한 USB 플래시 드라이브를 이용한 DSP 펌웨어 업데이트는 다양한 DSP에서 편리하고 간편하게 사용할 수 있으므로 활용성이 높을 것으로 예상된다.

References

- [1] G. B. Lee, “DSP TMS320F28335 Technology for Power Electronic System Control”, Munundang, 2017 (in Korean).
- [2] K. W. Lee, “Power Electronics and DSP”, KIPE Magazine, Vol. 25, No. 3, pp. 62-65, 2020 (in Korean).
- [3] H. W. Kim, K. G. Nam, J. Y. Choi, “Analog-Digital Signal Processing System Based on TMS320F28377D”, IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 14, No. 1, pp. 33-41, 2019 (in Korean).
- [4] S. Ahn, S. Malik, “Automated Firmware Testing Using Firmware-hardware Interaction”, Proceedings of International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis, pp. 1-10, 2014.
- [5] N. Pekez, J. Kovačević, N. Kaprocki, “Firmware Update Procedure for Audio Systems Based on CS4953xx DSP Family”, Proceedings of International Conference on Smart Systems and Technologies, pp. 29-34. 2018.
- [6] “USB Flash Programming of C2000 Microcontrollers”, Texas Instruments, 2019.
- [7] “Serial Flash Programming of C2000 Microcontrollers”, Texas Instruments, 2021.
- [8] “TMS320F2837xD Dual-Core Microcontrollers datasheet”, Texas Instruments, 2021.
- [9] “TMS320F2837xD Dual-Core Microcontrollers Technical Reference Manual”, Texas Instruments, 2019.

Jin-Sun Kim (김진순)

2020 Electrical Engineering from Pusan National University (B.S.)

2021~Electrical and Electronics Engineering from National University (M.S. candidate)

Field of Interests: Embedded system and control system

Email: kjs8565@pusan.ac.kr

Joon-Young Choi (최준영)

1994 Electronics and Electric Engineering from Pohang University of Science and Technology (B.S.)

1996 Electronics and Electric Engineering from Pohang University of Science and Technology (M.S.)

2002 Electronics and Electric Engineering from Pohang University of Science and Technology (Ph.D.)

2005~Department of Electronics Engineering at Pusan National University, Busan, Korea (Prof.)

Field of Interests : Embedded system and control system

Email: jyc@pusan.ac.kr