

스마트 제조를 위한 Cortex-M 기반 임베디드 시스템 개발

조춘남 

한국폴리텍IV대학 홍성캠퍼스 전기과

Development of Embedded System Based Cortex-M for Smart Manufacturing

Choon-Nam Cho

Department of Electric Engineering, Korea Polytechnic Colleges (Hongseong Campus), Hongseong 32244, Korea

(Received April 16, 2020; Revised April 21, 2020; Accepted April 21, 2020)

Abstract: Small-scale production control systems for smart manufacturing are becoming increasingly necessary as the manufacturing industry seeks to maximize manufacturing efficiency as the demand for customized product production increases. Correspondingly, the development of an embedded system to realize this capability is becoming important. In this study, we developed an embedded system based on an open source system that is cheaper than a widely applied programmable logic controller (PLC)-based production control system that is easier to install, configure, and process than a conventional relay control panel. This embedded system is system is based on a low-power, high-performance Cortex M4 processor and can be applied to smart manufacturing. It is designed to improve the development environment and compatibility of existing PLCs, control small-scale production systems, and enable data collection through heterogeneous communication. The real-time response characteristics were confirmed through an operation test for input/output control and data collection, and it was confirmed that they can be used in industrial sites.

Keywords: Embedded system, Cortex-m, Data collection, Heterogeneous communication, Smart manufacture

1. 서론

제조업 분야의 제4차 산업혁명에 따른 제조효율 극대화 및 고객맞춤형 제품생산에 대한 수요가 증가됨에 따라 스마트 제조에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 스마트 제조를 위하여 소규모 제어시스템 및 제어시스템 간의 데이터 호환성뿐만 아니라 기기종 간의 통신의 필요성이 증대됨에 따라 이를 실현하기 위한 임베디드 시스템 개발이 중요해지고 있다 [1,2].

소규모 제어시스템으로 PLC (programmable logic controller)가 기존 릴레이 제어반에 비해 설치 및 구성과 공정 변경이 용이하므로 많이 적용되어 왔다. 그러나 PLC 메이커별 사용 소프트웨어가 달라 개발환경의 호환성이 부족하고 네트워크 구축을 위한 고가의 통신모듈이 필요해 기기종 간 통신의 어려움을 가지고 있다. 그러므로 소규모 생산설비 제어 시 PLC 기반 시스템보다 저렴한 오픈 소스 기반 임베디드 시스템의 요구가 증대되고 있다 [3,4].

따라서 본 논문에서는 스마트 제조에 적용할 수 있도록 저전력, 고성능의 cortex-M4 프로세서를 기반으로 하는 임베디드 시스템을 개발하여 기존의 PLC 제어기와 데이터 수집이 가능하도록 임베디드 시스템의 적용가능성을 확인하고자 하였다.

✉ Choon-Nam Cho; cho4593@kopo.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 임베디드 시스템 개발

본 연구에서는 임베디드 시스템을 개발하기 위하여 ARM 기반 프로세서인 cortex-M 프로세서를 적용하였다. ARM 기반 프로세서는 RISC (reduced instruction set computer) 형태의 저전력, 고성능 프로세서로 임베디드 프로세서 시장의 95%를 점유하고 있다 [5]. 표 1은 ARM cortex 계열 특징과 용도를 나타내었다.

Cortex-M 프로세서는 초소형으로 소비전력이 적으며 저비용의 다양한 확장성을 제공하고 있어 범용 제어장치와 센서 네트워크 등에 적합하다. 특히, cortex-M4 프로세서는 400 MHz의 클럭 주파수의 고성능 프로세서로 단일 사이클 MAC 연산과 같은 디지털 신호처리작업에 추가 명령어 대상을 제공하고 있으며 IEEE 754 부동소수점을 지원하는 유닛도 제공하는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 STMicro- electronics사의 ARM cortex-M4 STM32F407ZE 마이크로컨트롤러를 사용하였으며 사양은 표 2와 같다.

개발된 임베디드 시스템의 블록다이어그램은 그림 1에 나타내었다. 전원부는 24 V DC to 24 V - 5 V - 3.3 V converter로 구성하였다. 입력부는 digital input 16 CH과 extension GPIO로 구성하였으며, 출력부는 UART (bluetooth, USB) 통신과 digital output 16

CH, CAN 통신이 가능하도록 구성하였다. 생산설비 제어를 위하여 입력 인터페이스를 기존 24 V 입력을 24 V - 5 V - 3.3 V를 생성하여 공급할 수 있도록 하였으며 회로를 보호하기 위하여 포토커플러를 적용하였다. 또한 역방향의 전원 투입을 방지하기 위하여 제너 다이오드를 활용하였다.

출력 인터페이스 3.3 V 출력을 24 V로 생성하여 출력하도록 하였으며 달링턴 접속의 ULN2803AFWG의 IC를 활용하였다.

입출력 회로의 인터페이스는 그림 2에 나타내었다. 소규모 생산설비에 적용되어 왔던 PLC와 같은 기능을 제

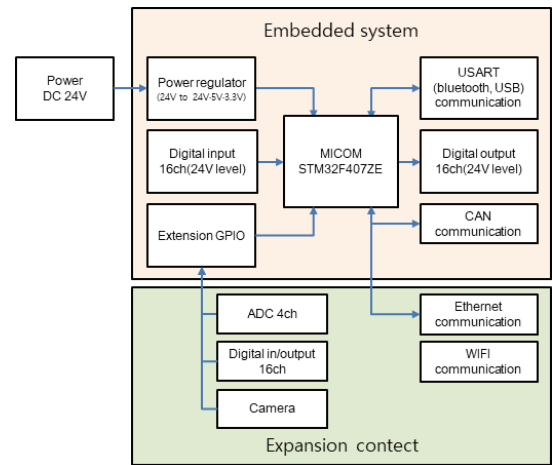


Fig. 1. Block diagram of embedded system.

Table 1. ARM cortex series features and uses.

Product name	Characteristic	Usage
Cortex-A	Mobile device optimization	Mobile application, graphic user interface, entertainment
Cortex-M	Subminiature, low power, low cost development	Universal control device, sensor networks
Cortex-R	Real-time processing	High-performance industrial control device, network storages

Table 2. Specifications ARM cortex M4 STM32F407ZE.

FCPU (MHz)	Flash (bytes)	RAM (kB)	Ethernet I/F	Camera I/F
168	512 K to 1 M	192	IEEE1588 2xCAN	OV09656_VL1A

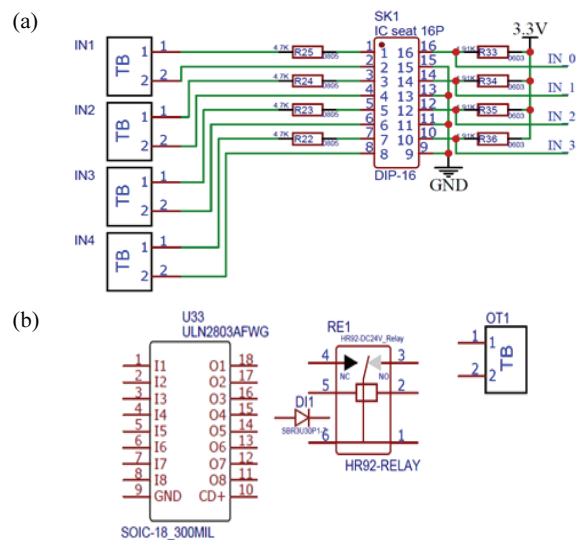


Fig. 2. Circuit diagram of input/output interface. (a) Input interface and (b) output interface.

공하기 위하여 4 CH의 아날로그/디지털 컨버터와 16점 디지털 입출력회로를 추가하여 확장할 수 있도록 구성하였으며 이더넷과 WiFi 통신이 가능하도록 구성하였다.

통신부 회로 인터페이스는 그림 3에 나타내었다. USB 인터페이스는 mini USB-B-5P-Female-TH_ C46398을 사용하였다. FTDI사의 FT232RL-REEL IC를 사용하여 데이터전송속도는 12 Mb/s, 공급전압 1.8~5.25 V에서 동작하도록 하였다. UART의 통신을 위하여 전송속도는 115,200 baud-rate로 8 bit의 데이터비트로 구성하였다. CAN 통신부는 Texas Instruments사의 SN5HVD230 DR IC를 사용하였다. 입출력 인터페이스를 위하여 HDR-2X 1/2 54CAN을 적용하였다. Bluetooth 회로부는 블루투스 4.2 BLE 모듈로 SMD 타입으로 칩 안테나 내장형인 BoT-CLE310DN 제품을 사용하여 구성하였다.

완성된 임베디드 시스템의 외형은 그림 4와 같다.

산업용 PC와 임베디드 시스템 및 PLC 시스템과 네트워크 계통도는 그림 5와 같다.

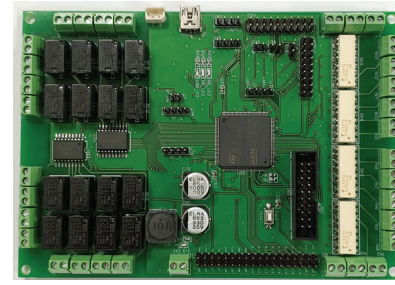


Fig. 4. Prototype appearance for test management.

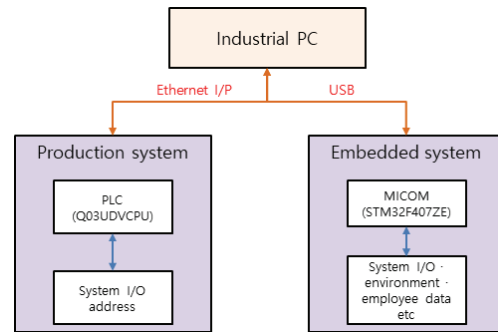


Fig. 5. Network system diagram between embedded system and production system.

3. 결과 및 고찰

3.1 USB 인터페이스 통신 시험

임베디드 시스템 동작을 확인하기 위하여 visual studio 2019을 사용하여 그림 6과 같이 GUI를 프로그

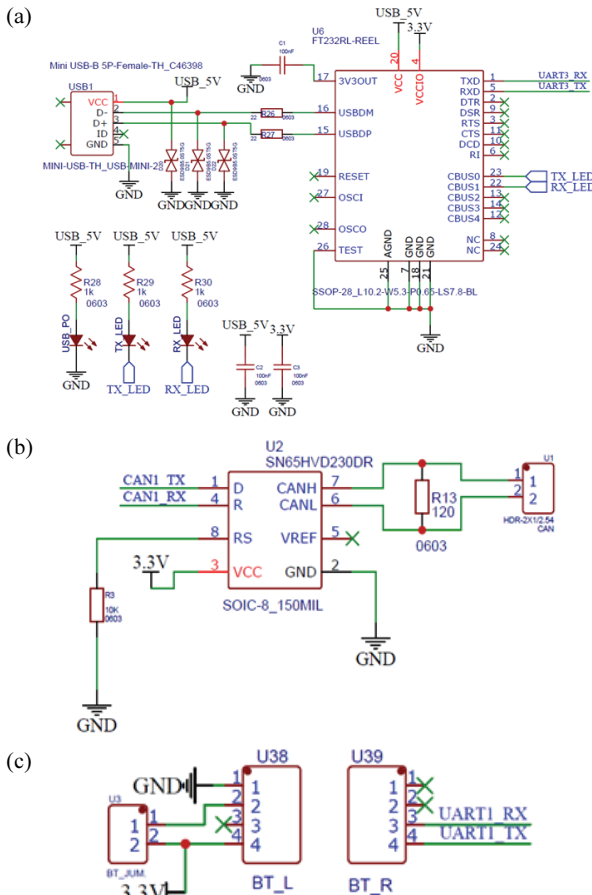


Fig. 3. Communication circuit (a) USB, (b) CAN, and (c) bluetooth.

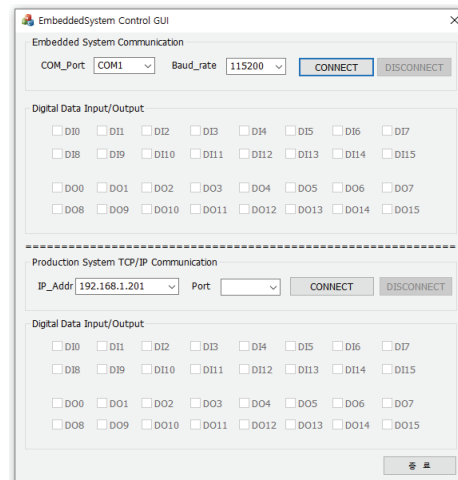


Fig. 6. GUI implementation for control embedded system.

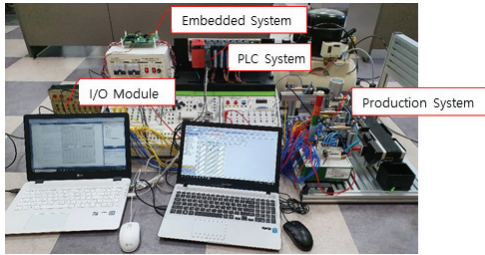
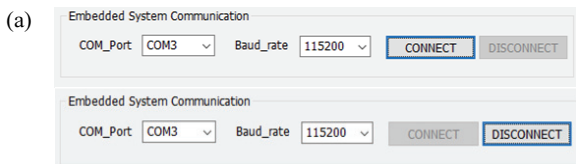


Fig. 7. System configuration between embedded system and PLC production system.



```
(b) void usart_receive(unsigned char ch)
{
    char ret;
    if( ch != 0 )
    {
        ret = command_parsing(ch);
        if( ret == CMD_COMPLETE )
        {
            set_cmd_para_raw_data(get_parsing_data());
            //비트를 송신용 데이터로 변환 pin_state -> output_buff[];
            proc_cmd_para(); //수신데이터 해석 및 명령처리
        }
    }
}
```

```
(c) bool serial_monitoring_output_digi(u32 param1, u32 param2)
{
    static char state = 0;
    static char output_buff[24];
    GPIO_PinState *pin_state;

    if(state == 0)
    {
        pin_state = get_digital_input_state_16bit();
        //비트를 송신용 데이터로 변환 pin_state -> output_buff[];
        trans_cmd_para_to_cmd_array(CMD_DI, 1, (char*)(pin_state), output_buff);
        state = 1;
    }
    else if(state == 1)
    {
        pin_state = get_digital_output_state_16bit();
        //비트를 송신용 데이터로 변환 pin_state -> output_buff[];
        trans_cmd_para_to_cmd_array(CMD_DO, 1, (char*)(pin_state), output_buff);
        state = 0;
    }

    usart1_tx(output_buff, 24);
    return true;
}
```

Fig. 8. Communication test between systems (a) UART communication test, (b) coding for receiving data, and (c) coding for sending data.

래밍하여 그림 7과 같이 제어하였다.

UART 통신의 RS-232 통신 연결을 확인하기 위하여 표준함수로 프로그래밍하여 그림 8과 같이 확인하였다. 그림 8(a)는 통신 연결이 되면 비활성화되도록 하여 통신 연결을 가시적으로 확인하도록 하였다. 그림 8(b)는 데이터 수신을 위한 소스코드이며, 그림 8(c)는 데이터 송신을 위한 소스코드이다.

임베디드 시스템과 PC 간 데이터 전송을 하기 위하여 프로토콜의 데이터 전송을 위한 프레임(frame)은

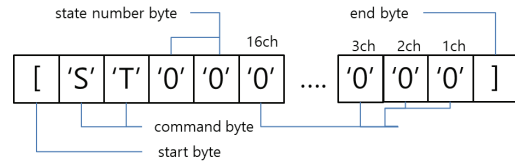


Fig. 9. Protocol for communication between systems.

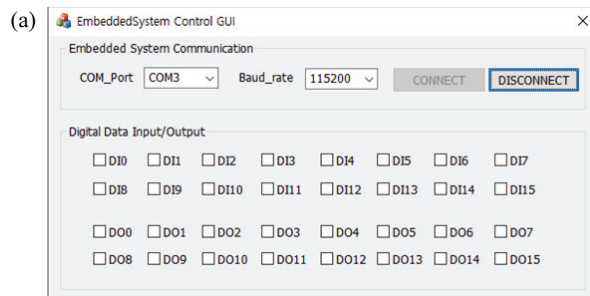
그림 9와 같이 구성하였다.

Start byte와 end byte는 각각 1 byte로 구성하였으며 state number byte는 2 byte와 command byte는 2 byte로 구성하였다. Bit control byte는 16 byte를 사용하여 16 CH로 구성하여 전체 22 byte로 하였다.

3.2 입출력 제어 및 데이터 수집

임베디드 시스템의 입출력 제어를 위한 GUI와 프로그램 소스는 그림 10과 같다.

PLC 기반 생산 시스템과의 데이터 수집을 위한 GUI와 프로그램 소스는 그림 11과 같으며 정상적인 데이터 수집이 가능함을 확인할 수 있었다.



```
(b) void CEmbeddedSystemDlg::CheckDoData()
{
    check_buff[0] = '[';
    check_buff[1] = 'D';
    check_buff[2] = '0';
    check_buff[3] = '0';
    check_buff[4] = '0';
    check_buff[5] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D015) + '0';
    check_buff[6] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D014) + '0';
    check_buff[7] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D013) + '0';
    check_buff[8] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D012) + '0';
    check_buff[9] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D011) + '0';
    check_buff[10] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D010) + '0';
    check_buff[11] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D009) + '0';
    check_buff[12] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D008) + '0';
    check_buff[13] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D007) + '0';
    check_buff[14] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D006) + '0';
    check_buff[15] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D005) + '0';
    check_buff[16] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D004) + '0';
    check_buff[17] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D003) + '0';
    check_buff[18] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D002) + '0';
    check_buff[19] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D001) + '0';
    check_buff[20] = IsDlgButtonChecked(IDC_CHECK_D000) + '0';
    check_buff[21] = ']' ;
    check_buff[22] = '\r';
    check_buff[23] = '\n';

    m_comm->WriteComm(check_buff, 24); //데이터 송신 함수
}
```

Fig. 10. GUI and programming source for I/O control of embedded system. (a) GUI and (b) programming source.

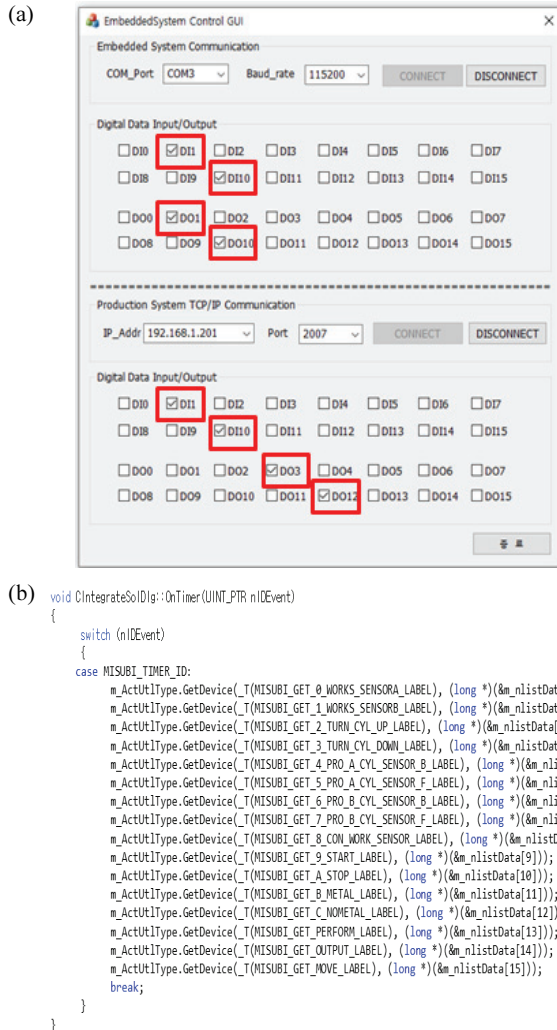


Fig. 11. GUI and programming source for data collection with PLC-based production system. (a) GUI and (b) programming source.

4. 결론

본 논문에서는 제조효율의 극대화 및 고객맞춤형 제품 생산이 요구되는 스마트 제조 적용을 위하여 cortex-

M4 프로세서를 기반으로 하는 임베디드 시스템을 개발하였다. 기존 PLC 기반의 소규모 제어 시스템의 메이커별 개발환경 및 호환성을 개선하기 위하여 visual studio 2019를 사용하여 프로그래밍한 GUI를 적용하였으며 개발된 임베디드 시스템의 현장적용 가능성을 평가를 위하여 입출력 제어 및 데이터 수집에 대한 동작 시험을 하였다. 이를 통해 실시간 응답 특성을 만족하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 산업 현장에서 활용 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 관리자가 현장의 상황을 원격에서도 관리할 수 있도록 웹기반 제어 및 모니터링이 가능하도록 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

ORCID

Choon-Nam Cho

<https://orcid.org/0000-0003-1568-9448>

REFERENCES

- [1] J. H. Lee, H. W. Kim, and J. Y. Choi, *J. Korean Inst. Inf. Technol.*, **16**, 57 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2018.16.4.57>]
- [2] S. M. Chun and S. Y. Suk, *J. Embedded Syst. Appl.*, **14**, 187 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.14372/IEMEK.2019.14.4.187>]
- [3] Y. M. Lee, W. B. Lee, and S. H. Lee, *Inst. Korean Electr. Electron. Eng.*, **23**, 1092 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.3.1092>]
- [4] H. M. Cho, H. W. Kim, and J. Y. Choi, *J. Korean Inst. Inf. Technol.*, **17**, 45 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.2.45>]
- [5] W. Y. Lee and J. J. Oh, *J. Pract. Eng. Educ.*, **11**, 283 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.14702/JPEE.2019.283>]