

심자도 신호 획득을 위한 실시간 64-Ch 12-bit 1ks/s 하드웨어 개발

이동하, 유재택
안양대학교 전기전자공학과

Development of 64-Channel 12-bit 1ks/s Hardware for MCG Signal Acquisition

Dong-Ha Lee, Jae-Tack Yoo
Anyang University

A heart diagnosis system adopts Superconducting QUantum Interface Device(SQUID) sensors for precision MCG signal acquisitions. Such system is composed of hundreds of sensors, requiring fast signal sampling and precise analog-digital conversions(ADC). Our development of hardware board, processing 64-channel 12-bit 1ks/s, is built by using 8-channel ADC chips, 8-bit microprocessors, SPI interfaces, and parallel data transfers between microprocessors to meet the 1ks/s, *i.e.* 1 ms speed. The test result shows that the signal acquisition is done in 168 μ sec which is much shorter than the required 1 ms period. This hardware will be extended to 256 channel data acquisition to be used for the diagnosis system.

Key Words : Biomagnetic diagnosis system, SQUID sensors, parallel ADCs

1. 서 론

심장근육이 수축, 이완할 때 발생하는 활동전위는 심장으로부터 온 몹으로 퍼지는 전류를 일으키며, 몸의 위치에 따라 전위차를 발생시키는데 이러한 전위차를 검출하여 심장질환을 측정하는데 심전도(ECG, ElectroCardioGram) 측정 장치가 이용된다. 한편 심자도(MCG, MagnetoCardioGram)는 사람의 심장으로부터 발생하는 자기신호인 생체자기장을 이용하여 심장의 내부에서 일어나는 활동전류의 미세한 변화를 측정하는 것이다[1]. 생체자기측정을 이용한 진단은 비접촉, 비파괴적이면서 우수한 시간 및 공간분해능을 바탕으로 활동전류의 미세한 변화를 정밀하게 측정할 수 있기 때문에 뇌, 심장 기능연구 및 기능적 질환진단에 중요하게 사용될 수 있는 차세대 의료진단 기술이다. 이러한 생체자기측정은 고감도 자장센서인 초전도양자간섭소자 SQUID(Superconducting QUantum Interference Device)를

사용함으로써 측정이 가능하다. SQUID는 초전도체에서의 자속양자화와 조셉슨효과를 이용한 소자로서 양자역학적 측정감도를 갖는 고감도 센서이다. SQUID를 이용한 자력계는 인간이 개발한 자기센서 중에서 가장 우수한 감도를 가지며 사람의 뇌, 심장에서 발생하는 미약한 자기장의 측정이 가능하다. 인체는 자기장에 대해 투명하기 때문에 자장 발생원으로부터 공간적으로 떨어진 위치에서도 측정이 가능하다[2]. 이러한 SQUID를 이용한 극미소 자장 측정장치는 정확성과 안정성이 매우 중요하고 측정하려는 신호의 입력이 많기 때문에, 측정된 신호를 정확하고 신속하게 처리하는 시스템이 필요하다[3]. 본 논문에서는 이러한 다채널 생체자기 신호 획득 시스템을 위한 하드웨어를 구현하고 향후에 256Ch까지 확장할 수 있는 시스템 설계를 보일 것이다. 2, 3장에서는 심자도 신호 획득 시스템의 구

성을 설명하고 시스템 설계를 위해 세부적으로 전송 데이터 및 속도를 체크하였으며 4, 5장에서는 실험결과 및 향후 연구 내용에 대해 언급하였다.

2. 심자도 신호 획득 시스템

심자도 신호 획득 시스템에 관한 연구는 입력신호에 대해 MUX를 이용하여 입력채널을 다중화하고, 다중화된 아날로그 신호를 A/D 변환하여 DSP로 데이터를 전송한 후, 데이터를 역다중화하여 데이터 얼라인을 통해 원시데이터를 획득하고 저장하는 과정을 보인 사례가 있다[4]. 여기서는 신속한 데이터 전송을 위해 이와는 다른 형태의 시스템을 논하고자 한다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템의 개요

여기서는 64-Ch 신호 입력과 1Ksample/sec 속도의 개발보드를 설계하였다. 심자도 신호 획득 시스템은 데이터 입력에서부터 최종 데이터 변환 및 디스플레이까지 이르는 시간이 1000ks/s 이내가 요구되며 향후 256채널을 목표로 구현할 것이다. 이를 위해 부분적으로 아래 그림의 <Board #1>만을 구현하여 시험하고 이를 확장함으로써 최종 256채널에 이르게 할 것이다.

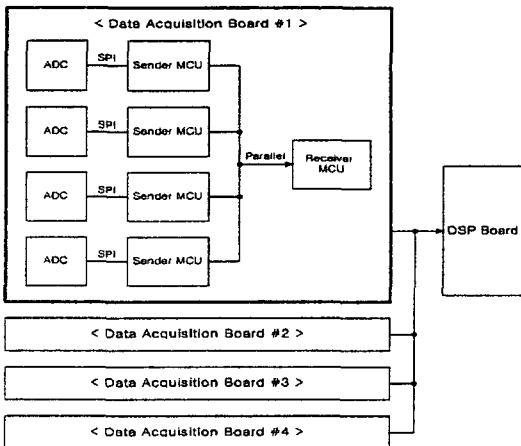


그림 1. 전체 시스템의 구성.

3.2 ADC와 MCU간 데이터 전송

다채널 입력신호를 A/D Converter를 이용하여 변환하는 아날로그/디지털 변환부와 이 신호를 획득하여 정확한 데이터를 체크하고 실시간 처리시의

실행 속도를 확인한다.

3.2.1 SPI를 이용한 데이터 전송

SPI(Serial Peripheral Interface)는 네 가지의 신호로 구성되는데 MISO(Master In Slave Out), MOSI(Master Out Slave In), SCLK(Serial Clock), SS(Slave select)으로 나뉜다. DOUT, DI, SCLK 신호는 프로세서의 MISO, MOSI, SCLK 신호에 대응하고, SS는 I/O에 연결된다. Master와 Slave에는 내부 직렬 Shift 레지스터가 있어서 Shift 레지스터에 값을 쓰는 방법으로 바이트 전송을 시작한다. Master 레지스터가 MOSI를 통해 Slave에 바이트를 전송하면, Slave는 Shift 레지스터 내용을 MISO를 통해 Master에게 거꾸로 전송한다. 이런 방식으로 두 Shift 레지스터 내용을 교환한다. 읽고 쓰는 연산 모두 동시에 수행하며, SPI통신의 동작은 아래의 타이밍과 같다.

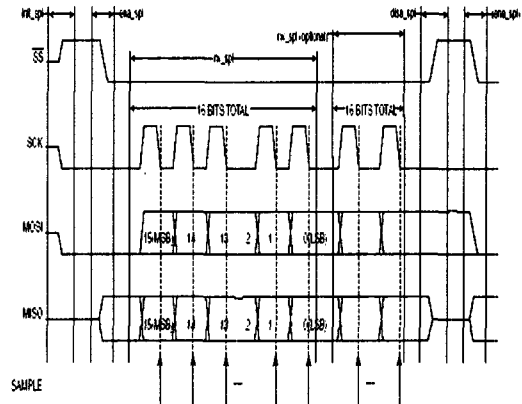


그림 2. ADC의 SPI 타이밍.

ADC(MAX186)는 아날로그 입력을 위해 8개 채널을 제공하며, 12비트 분해능과 100Ksample/sec의 Sample rate로 데이터를 추출할 수 있다. 또한 내부 추적과 유지 기능이 있어 변환도중에 결과를 훼손하는 신호 변화를 방지한다. A/D변환은 SPI를 통해 ADC에 시작 명령을 전송함으로써 변환을 시작한다. 시작 명령은 단순히 채널선택과 특정 변환을 위한 ADC control byte(8비트)이다. MCU는 I/O를 이용하여 SS를 low로 함으로써 Slave를 선택한 후 SCK에 2MHz의 clock에 동기시켜 MOSI에 컨트롤 신호(8비트)를 출력한 후, MISO에 ADC의 변환 결과(12비트)를 입력받게 된다. 한 채널에 24cycle이

소요되며 control byte를 변경함으로써 채널의 선택이 가능하다. 아래 그림은 SPI를 위한 하드웨어 구성을 보이며 데이터 확인을 위해 LCD를 부착하였다.

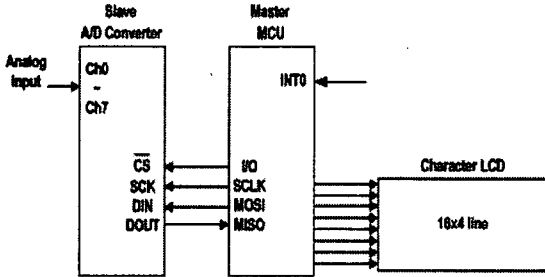


그림 3. ADC와 MCU의 연결도

3.2.2 ADC와 MCU의 전송 속도 체크

SPI통신을 수행함에 있어서 속도는 A/D 변환시 제어명령과 데이터를 입력받는데 채널 당 24cycle = 12us(2MHz)가 소요되며, MCU의 명령실행은 0.125us(8MHz)로 동작한다. 속도체크는 변환신호 명령을 전송하기 전에 카운터 레지스터의 초기값을 지정한 후 8채널의 데이터를 모두 변환하고 내부 SRAM에 저장하는 순간, 1카운트씩 증가하는 up카운터를 이용하여 카운트 값을 LCD로 출력하도록 설계하였다. 다음의 flowchart는 위의 데이터 전송과 속도 체크를 확인하는 과정을 나타낸다.

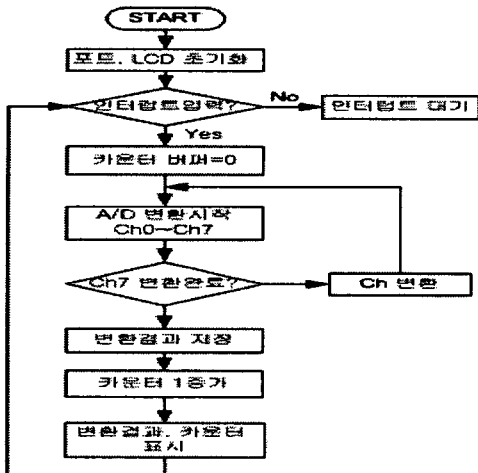


그림 4. ADC와 MCU의 flowchart.

3.3 MCU와 MCU간 데이터 전송

MCU간의 Parallel통신은 일반 I/O포트를 이용하여 외부 인터럽트 입력시 동작을 수행하도록 어셈블리어로 프로그래밍 하였다. 여기서 Sender란 3.2

절에서 설명한 SPI를 통해 취득한 A/D변환결과를 전송하는 MCU를 의미하고, Receiver는 Sender로부터 Parallel을 통해 데이터를 입력받는 MCU를 의미한다. 이를 위한 하드웨어 구성은 아래와 같다.

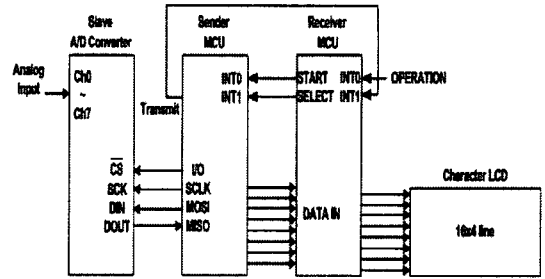


그림 5. 데이터 확인을 위한 하드웨어 구성.

우선 외부 인터럽트로 Receiver의 operation 명령을 인가하게 되면, Receiver는 Sender에게 A/D 변환시작 명령(start)을 인터럽트 신호로 준다. Sender는 SPI를 이용하여 A/D변환을 시작하고 내부 SRAM에 원시데이터를 저장한 후, Receiver에게 변환완료 및 데이터 저장 완료 신호(transmit)를 인터럽트로 내보내 주게 된다. Receiver는 인터럽트를 받으면 select단자를 이용하여 Sender에 인터럽트를 출력한 후, Parallel 통신을 이용하여 Sender로부터 입력데이터를 동기신호에 맞춰 취득하고 내부 SRAM에 저장한다. Sender에서의 SPI를 통한 A/D변환(8채널)과 데이터 저장 및 전송 실행시간은 약 120us가 소요되고, Receiver에서의 데이터 수신과 저장 실행시간은 약 6us의 시간을 소요한다. 다음의 flowchart는 MCU간의 동작 상태를 보인다.

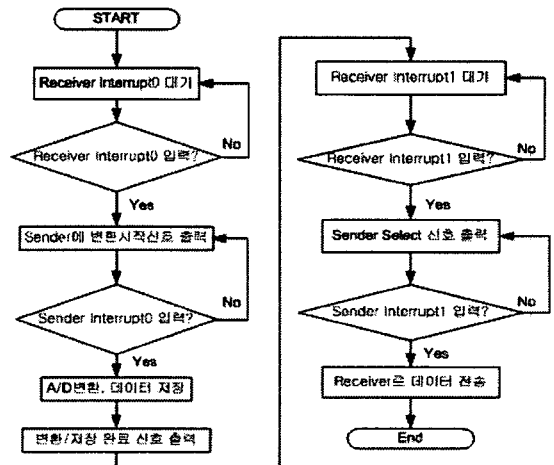


그림 6. MCU와 MCU 사이의 flowchart.

시험적으로 ADC 4개와 Sender MCU 4개, Receiver MCU 1개를 이용하여 32채널의 데이터 획득 시스템을 구현한 시스템은 아래의 그림과 같다. 이는 다채널 획득시스템의 기본구조로서 Receiver MCU는 32채널의 데이터를 처리할 수 있도록 AND 논리 게이트를 이용하여 Sender로부터의 변환완료 신호를 받아 모든 채널이 변환완료를 하면 각각의 Sender를 순차적으로 select하여 데이터를 취할 수 있도록 구성하였다.

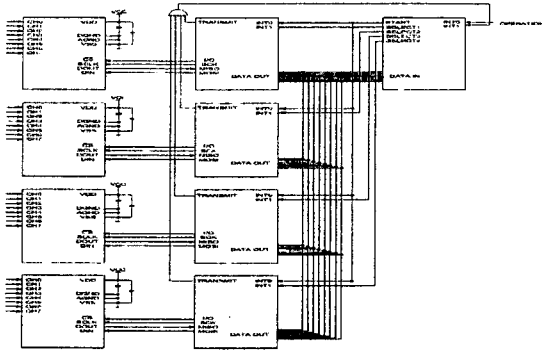


그림 7. MCU와 MCU 사이의 하드웨어 구성도.

4. 실험 결과

시스템의 신호 입력은 가변저항과 직렬저항의 균등 분압으로 입력을 제공하였으며, 출력은 균등하게 8분할되어 ADC의 각 채널로 입력된다. 데이터 확인을 위해 LCD를 설치하여 디스플레이하고 결과를 확인하였다. 아래의 사진은 이와 같은 동작을 위한 하드웨어를 보인다.

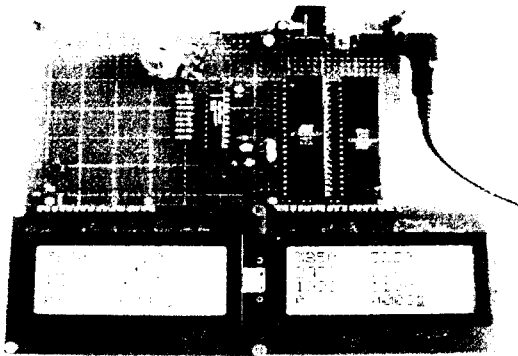


그림 8. 구현한 하드웨어 prototype

아래 좌측의 LCD는 SPI를 통해 데이터 취득을 하는 Sender MCU의 A/D 변환결과를 나타내고, 우측의 LCD는 Receiver MCU의 Parallel 통신 결

과를 나타낸다. 왼쪽의 손잡이는 가변저항으로서 ADC의 아날로그 입력 단자에 각기 다른 신호를 입력하며, IC는 MAX186 ADC(MAXIM)와 ATmega8535(ATMEL)를 사용하였다. 실험결과를 통해 데이터 획득과 전송이 정확함을 확인할 수 있었다. 이를 확장하여 64채널의 데이터 획득을 수행하는 경우에는 Sender에서의 120us의 수행시간과 Receiver에서의 6us의 수행시간을 모두 합해 168us(120us+6us*8)에 기본적인 통신이 종료된다. 이를 통해 목표한 64-Ch, 1Ksample/sec가 충분히 처리됨을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 실시간 다채널 생체자기 신호를 획득하기에 적합한 시스템을 구현하였으며, 데이터 전송의 정확성과 전송속도에 대하여 검증하였다. 설계된 시스템은 향후 256채널의 데이터를 획득하기 위해서 간단히 하드웨어를 추가함으로써 확장이 가능하고, 차후에는 다수의 Receiver MCU로부터 DSP Board와 PCI Board를 연결하여 입력에 대한 연산 및 데이터 처리를 할 것이다.

감사의 글

연구에 도움을 주신 한국전기연구원(KERI) 전자 의료기기연구그룹에 감사의 뜻을 전합니다.

참고 문헌

- [1] "64-channel DC-SQUID magnetometer system", Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, vol.3, p.1494-1407, 1993
- [2] <http://www.kriss.re.kr>, 한국표준과학연구원
- [3] Biomagnetism을 이용한 신 의료기기개발 제 1세부과제, 한국전기연구원
- [4] "다채널 생체자기 신호의 다중 데이터 획득 시스템 설계", 2003 정보 및 제어 학술회의 논문집, p. 515, 2003.
- [5] 차영배, "어셈블리어로 배우는 AVR 마이컴", 다다미디어.
- [6] John Catsoulis, "임베디드 하드웨어 이해와 설계", 한빛미디어
- [7] MAX186 Data sheet, MAXIM.
- [8] ATMEGA8535 Data sheet, ATMEL.