

심자도 신호 획득을 위한 고속 병렬 데이터 전송 구현

이동하, 유재택

안양대학교 전기전자공학과

Implementation of high-speed parallel data transfer for MCG signal acquisition

Dong-Ha Lee, Jae-Tack Yoo

Anyang University

A heart diagnosis system adopts hundreds of Superconducting QUantum Interface Device(SQUID) sensors for precision MCG(Magnetocardiogram) or MEG(Magnetoencephalogram) signal acquisitions. This system requires correct and real-time data acquisition from the sensors in a required sampling interval, *i.e.*, 1 mili-second. This paper presents our hardware design and test results, to acquire data from 256 channel analog signal with 1-ksample/sec speed, using 12-bit 8-channel ADC devices, SPI interfaces, parallel interfaces, and 8-bit microprocessors. We chose to implement parallel data transfer between microprocessors as an effective way of achieving such data collection. Our result concludes that the data collection can be done in 250 μ sec time-interval.

Key Words : MCG biomagnetic field, SQUID sensor data, parallel data collection

1. 서 론

생명체에서는 심장 근육이나 신경조직 등의 세포 활동에 의해 이온전류가 발생하며, 이러한 전류에 의해 직접 발생되는 미세한 자장을 생체자기라 한다. 이와 같이 인체의 각 부위에서 발생하는 미약한 세기의 자장을 고감도 센서인 초전도양자간섭장치(SQUID: Superconducting QUantum Interference Device)로 측정함으로써 심자도 혹은 뇌자도와 같은 신호를 얻을 수 있으며, 이를 의학적 진단에 활용하기 위한 생체자기 측정 기술이 많이 연구되고 있다[1].

기존의 심전도 검사는 세포수준 혹은 심장 전체에서 발생하는 전류가 도체의 구실을 하는 몸통을 통하여 전위차를 형성할 때 신체표면에서 그 전위차를 측정함으로써 심장의 전기적 움직임을 알아내는 방법이다. 즉, 이러한 심전도 검사는 심장의 전위를 신체표면에서 측정하는 관계로 심장으로부터 체표

사이의 여러 다양한 매질(심장, 폐포, 근육, 피부 등)의 전기적 전도 상태에 의하여 신호의 왜곡이 나타날 수가 있다. 한편, 심자도의 측정은 인체조직이 자기적으로 균일하므로 측정 부위와 심장 사이의 매질에 의한 영향을 받지 않고 심장의 전기적 변화를 기록할 수가 있어, 심장전기 흐름에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 수 있다. 즉, 생체자기 측정을 이용한 진단은 비접촉, 비파괴적이면서 자장을 발생시키는 체내 활동 전류에 대한 3차원적인 정보를 얻는데 유용하게 사용될 수 있다[2]. 이러한 SQUID를 이용한 생체자기 측정 장치는 정확성과 안정성이 매우 중요하고 측정하려는 신호의 입력이 많기 때문에, 측정된 신호를 정확하게 신속하게 처리하는 시스템이 필요하다[3]. 본 논문에서는 이러한 다채널 생체자기 신호 획득을 위해 ADC와 마이크로프로세서를 이용하여 하드웨어를 구현하였고

특히, 실시간으로 동작되어야 하는 특성상 빠른 데이터 전송에 중점을 두어 설명할 것이다.

2. 시스템 사양

SQUID는 초전도체에서의 자속양자화와 조셉슨 효과를 이용한 소자로서 양자역학적 측정감도를 갖는 고감도 센서이며, 비선형적인 자속을 전압으로 변환하는 소자이다. 설계하고자 하는 시스템은, SQUID로부터의 출력은 임의의 신호로 가정하고 전압신호의 획득과 데이터 처리를 하도록 하였으며 시스템 사양은 256채널의 입력신호에 대해 12bit 1ksamples/sec의 속도를 가지는 시스템의 구현이다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템의 개요

아래 그림은 전체 시스템의 구성을 개략적으로 나타낸다. 여기서는 부분적으로 아래 그림의 <Board #1>만을 구현하여 시험하고 이를 확장함으로써 최종 256채널에 이르게 할 것이다.

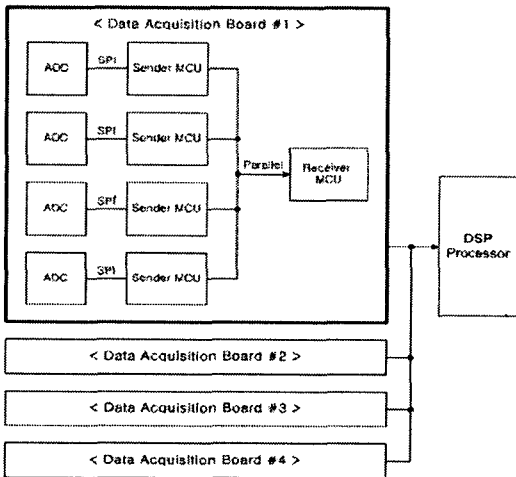


그림 1. 전체 시스템의 구성

3.2 ADC와 MCU간 데이터 전송

입력신호를 A/D Converter로 변환하고 마이크로프로세서를 이용하여 실시간 처리의 실행 속도를 확인한다. 여기서는 모토라에서 제안한 시리얼 인터페이스 방식인 SPI를 이용하여 ADC와 마이크로프로세서간 인터페이스를 수행하였다. 다음은 SPI 연결을 나타낸다.

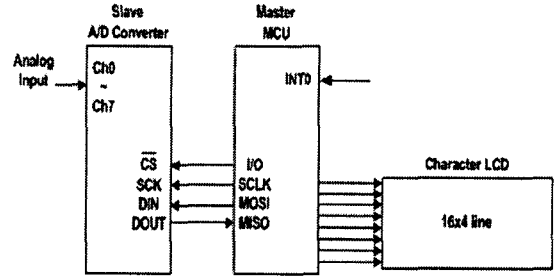


그림 2. ADC와 MCU의 연결

ADC는 아날로그 입력을 위해 8개 채널을 제공하고, 12비트 분해능과 100ksample/sec의 Sample rate로 데이터를 추출할 수 있는 것으로 선정하였으며 A/D변환은 SPI를 통해 시작 명령을 전송함으로써 변환을 시작한다. 시작 명령은 단순히 채널선택과 특정 변환을 위한 ADC control byte(8비트)이며, MCU는 I/O를 이용하여 CS를 low로 함으로써 Slave를 선택한 후 Master의 SCLK 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. SPI를 수행함에 있어서 속도는 A/D 변환시 제어명령과 데이터를 입력받는데 채널 당 24cycle = 12μs(2MHz SCLK인 경우)가 소요되며, 마이크로프로세서는 8MHz로 동작한다. 속도체크는 변환신호 명령을 전송하기 전에 카운터 레지스터의 초기값을 지정한 후 8채널의 데이터를 모두 변환하고 저장하는 순간, 1씩 증가하는 up카운터를 이용하여 그 값을 LCD로 출력하도록 설계하였다. 다음은 데이터 전송과 속도 체크를 확인하는 flowchart를 나타낸다.

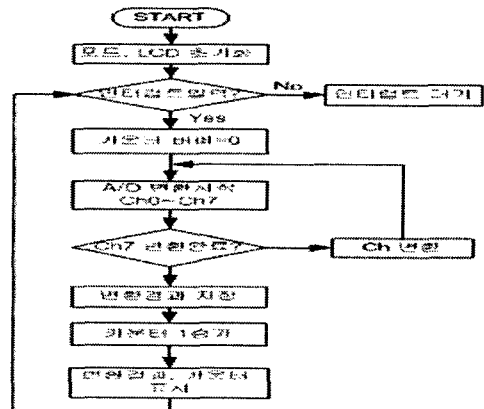


그림 3. ADC와 MCU 사이의 flowchart

3.3 MCU와 MCU간 데이터 전송

마이크로프로세서간의 데이터 전송은 일반 I/O포트를 이용하여 parallel 인터페이스로 구현을 하였다. 이는 pin-to-pin 방식으로 각각에 대응하는 8비트 신호를 출력신호와 입력신호 간 타이밍을 조절하여 데이터를 받아들일 수 있도록 어셈블리어로 프로그래밍 하였다. 인터럽트 입력시 동작을 수행하도록 하였으며, 여기서 Sender란 ADC와 SPI 인터페이스를 통해 획득한 A/D변환결과를 전송하는 MCU를 의미하고, Receiver는 parallel 인터페이스를 통해 데이터를 입력받는 MCU를 의미한다. 이를 위한 하드웨어 구성은 다음과 같다.

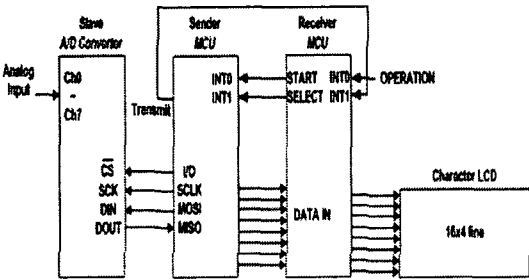


그림 4. Sender와 Receiver의 연결

우선 외부 인터럽트로 Receiver의 operation 명령을 인가하게 되면, Receiver는 Sender에게 A/D 변환시작 명령(start)을 인터럽트 신호로 내보내게 된다. 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 인터럽트로 출력한 후, parallel 인터페이스를 통하여 Sender로부터 입력데이터를 동기신호에 맞춰 취득하고 내부 SRAM에 저장한다. Sender에서의 SPI를 통한 A/D변환(8채널)과 데이터 저장 및 전송 실행시간은 약 114 μ s가 소요되고, Receiver에서의 데이터 수신과 저장 실행시간은 약 6.25 μ s의 시간을 소요한다.

다음은 이를 확장하여 4개의 Sender를 이용하여 32채널의 데이터 획득 시스템을 구현하였다. 이는 설계하고자 하는 256채널 심자도 신호 획득시스템의 기본구성으로서 Receiver는 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.

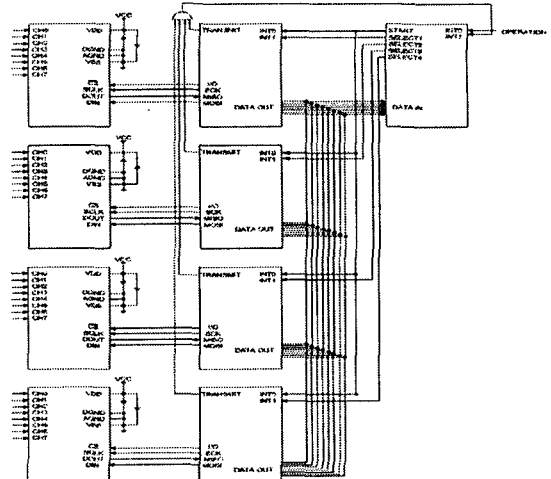


그림 5. 데이터 획득 시스템의 기본 구성

Sender는 모두 동시에 A/D변환을 수행한 후 데이터를 전송하는 순간에만 순차적으로 선택되어 데이터 전송을 하게 된다. 각각의 Sender는 8.625 μ s의 시간을 소요하게 되며, Receiver는 이들 4개의 Sender로부터의 데이터를 약 34.5 μ s동안 받아들이게 된다.

최종적으로 데이터 처리를 위하여 Receiver로부터 DSP(Digital Signal Processor)로 데이터가 수집된다. DSP는 256채널의 데이터를 모두 획득하여 데이터 정렬 및 연산을 수행하기 위하여 사용된다. DSP는 타이머를 이용하여 매 1ms마다 데이터 획득 신호를 출력하도록 하였고 Receiver는 이를 인터럽트 입력으로 받아 앞의 수행과정을 모두 취한 후, 최종적으로 DSP의 32비트 데이터라인을 이용하여 parallel 인터페이스로 데이터를 전송하게 된다. 8개의 Receiver가 DSP로 데이터를 내보내는데 약 69 μ s정도가 소요된다.

4. 실험 결과

실제한 최종 시스템에서 신호 입력은 가변저항과 직렬저항을 조합하여 각각 다른 입력을 제공하였으며, 이는 ADC의 각 채널로 입력된다. 입력한 값에 대해 정확한 데이터 변환 및 전송 확인을 위해 LCD를 설치하여 A/D 변환값을 디스플레이하고 결과를 확인하였다. 아래의 사진은 이와 같은 동작을 위한 하드웨어를 보인다.

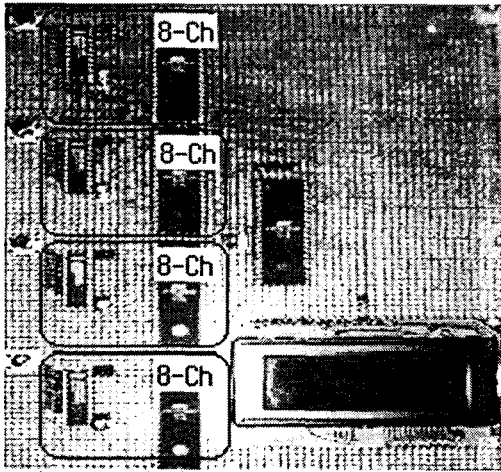


그림 7. 구현한 하드웨어 prototype

ADC의 아날로그 입력 단자에 각기 다른 신호를 입력하며, MAXIM사의 12-bit 8-channel ADC와 ATMEL사의 8-bit 마이크로프로세서, TI사의 DSP를 사용하였다. ADC와 Sender의 SPI 인터페이스, Sender와 Receiver의 parallel 인터페이스 실험결과를 통해 데이터 획득과 전송이 정확함을 확인할 수 있었다. 이를 확장하여 256채널의 데이터 획득을 수행하는 경우에는 Sender에서의 A/D변환 및 데이터 전송 $114\mu s$ 와 Receiver에서의 데이터 전송 $34.5\mu s$, DSP에서의 데이터 저장 $69\mu s$ 의 수행시간을 모두 합해 약 $250\mu s$ 이내에 기본적인 통신이 종료된다. 이를 통해 목표한 12-bit 256채널 신호획득 시스템에 대해 1ksamples/sec가 충분히 만족될 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 실시간 다채널 생체자기 신호를 획득하기에 적합한 1-ksamples/sec를 요구하는 12-bit 256채널의 데이터 획득시스템을 구현하였으며, 데이터 획득 및 전송의 정확성과 속도에 대하여 검증하였다. 설계된 시스템은 향후 수백채널의 데이터를 획득하기 위해서 간단히 하드웨어를 추가함으로써 확장이 가능하도록 설계하였으며, 프로그램을 변경함으로써 샘플링 레이트를 조절할 수 있는 유연성을 보이게 하였다.

참고 문헌

- [1] Schneider S, Hoenig E, Reichenberger H, Abraham Fuchs K, Moshage W, Oppelt A, Stefan H, Weigl A, Wirth A. Multichannel biomagnetic system for study of electrical activity in the brain and heart. *Radiology* 176:825-830, 1990
- [2] “백서 심근경색모델에서 시간경과와 경색의 크기에 따른 심자도의 변화”, 대한내과학회지 제 62권 제 1호, p.42-48, 2002
- [3] Biomagnetism을 이용한 신 의료기기개발 제 1세부과제, 한국전기연구원
- [4] 차영배, “어셈블리어로 배우는 AVR 마이컴”, 다다미디어.
- [5] John Catsoulis, “임베디드 하드웨어 이해와 설계”, 한빛미디어
- [6] MAX186 Data sheet, MAXIM.
- [7] ATMEGA8535 Data sheet, ATMEL.
- [8] TMS320C32 Data sheet, Texas Instruments.