

다채널 생체 자기 신호의 다중 데이터 획득 시스템 설계

The Design of Multiplexing Data Acquisition System for Multi Channel Bio-magnetic Signal

장 원 석, 전 창 익, 허 영, 진 승 오, 김 기 욱, 이 현 호
(Won Suk Chang, Chang Ik Jeon, Young Huh, Seung Oh Jin, Ki Uk Kim, Hyun Ho Lee)

한국전기연구원 전자의료기기연구그룹 (전화:(031)420-6154, 팩스:(031)420-6179, E-mail : wschang@keri.re.kr)

Abstract : The electrical current generated by heart creates not only electric potential but also a magnetic field. In this paper, we have designed the multiplexing data acquisition system for multichannel bio-magnetic signal measurement. The system consists of VXI rack which is organized MUX and AD board, Industrial rack which is mounted single board computer and DSP board. This system enable to realtime monitoring of multichannel data simultaneously. The number of channel could be increased simply added each module and firmware could be upgraded easily using host port interface of DSP.

Keywords : Bio-magnetic, Multichannel, Multiplex, DSP, Measurement

I. 서론

최근 초전도양자간섭소자(SQUID, Superconducting QUantum Interference Device)를 이용하여 인체의 심장 또는 뇌에서 발생하는 극미소 자장을 측정하는 심자도(MCG, MagnetoCardioGram) 및 뇌자도(MEG, MagnetoEncephaloGram) 측정 장치의 연구가 활발하다. 이와 같은 생체 자장 측정 장치는 생체 내의 활동 전위를 보다 정밀하게 측정함으로써, 생체 전기현상의 측정에 의한 질병의 조기 진단 방법으로 주목을 받고 있다[1].

인체는 전기적 특성에 있어서 구분적으로 동질성과 등방성으로 모델 되어진다. 그러나 전도도에 있어서는 방향성에 매우 의존적이다. 심장, 뇌 및 일반적인 근육은 전형적으로 비등방성인 특성을 갖고 있다. 다른 근육에서와 마찬가지로 심근 역시 근육의 세포 구조적 특성에 의해 비등방성인데, 이는 방향에 따른 전도도가 다르며, 전도 방향에 수직인 방향에 대해서는 전도가 잘되지 않는 특성을 갖고 있다[2].

이러한 생체 자기 신호 측정 시스템은 일반적으로 심자도 시스템의 경우 64채널, 뇌자도 신호의 경우 약 250 채널의 다채널 센서 분포를 가지며 미소 자기 신호를 측정하고, 음성이나 영상 신호와는 달리 정확성과 안정성이 매우 중요한 의학적용이므로 측정된 신호를 디지털화 하고 획득 하는 최종적인 통로가 되는 DAQ 시스템의 경우에도 이에 적합한 고정밀성, 고안정성 등이 요구 된다 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 다채널 생체자기 신호의 획득에 적합하며 많은 수의 다채널 데이터를 실시간에 획득하고 처리 할 수 DAQ 시스템의 구조와 세부 회로 등을 설계 하였다.

설계된 시스템은 크게 다채널 신호를 다중화하고 다

중화된 신호를 동기에 맞춰 디지털 변환하는 VXI 랙과, 다중화된 신호를 역 다중화하고 획득하여 실시간 디스플레이 해주는 호스트 시스템 그리고 획득된 신호의 분석물을 제공하는 분석 시스템으로 구성 하여 설계 되었다.

2장에서는 심자도 신호 데이터 획득 시스템의 전체 구성과 세부 설계에 대해 설명하였으며, 3장에서는 시스템 펌웨어의 구조와 다중화 및 역다중화 방법에 대해 논하였고 끝으로 제 4장에서 결론과 향후 연구 내용에 대해 언급하였다.

II. 다채널 획득 시스템 설계

1. 시스템의 전체 구성

심자도의 분석시스템 전체 구성은 다음 그림1 과 같다.

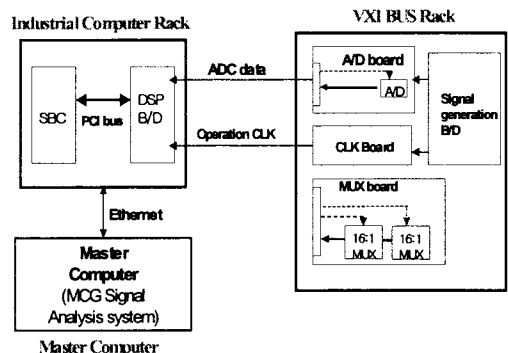


그림 1. 전체 시스템 구성

전체 분석시스템은 크게 모든 기능을 컨트롤하고 생체 자기 신호를 분석하는 데 사용되는 분석용 Master 컴퓨터와 DAQ 데이터를 획득하고 실시간 모니터링 하는데 사용되는 Slave DAQ 컴퓨터, 그리고 아날로그 신호가 입력되어 다중화 되고 AD 컨버전이 일어나는 보드들이 탑재된 VXI BUS Rack 으로 구성되어진다.

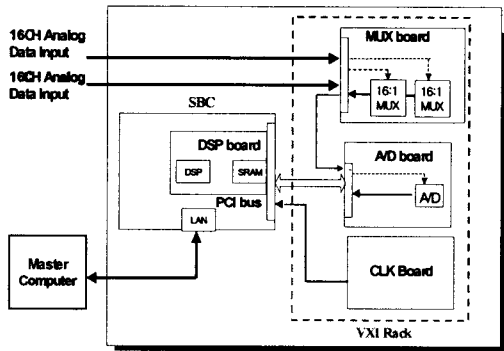


그림2. 시스템의 구성도

이중 실제로 DAQ를 맡고 있는 부분인 DAQ 시스템은 그림2와 같이 SBC(Single Board Computer)와 ACQ(Acquisition)을 담당하는 DSP 보드가 탑재되는 Industrial Rack과 16채널의 아날로그신호가 입력되면 이를 16:1로 다중화하는 MUX 보드, 다중화 된 아날로그 신호를 A/D 변화하는 ADC 보드, 각 보드에 동작 클럭을 제공하는 Clock 보드등이 탑재되는 VXI Rack 으로 구성된다.

서론에서 이미 설명 했듯이 심자도 시스템의 경우 64채널의 신호가 입력 되며 이를 효율적으로 처리하고 디지털 변환 하기 위해 아날로그 다중화 기법을 이용하였다. 32채널의 심자도 신호가 MUX 보드 1장 으로 입력되며 이는 아날로그 다중화되어 A/D 변환 보드로 전송되어진다. A/D 보드는 다중화 타이밍에 동기해 디지털 변환을 하고 데이터 획득용 DSP 보드로 넘긴다. DSP에 의해 획득된 데이터는 실시간 데이터 일 라인 과정을 거치고 호스트 시스템 메모리에 최종적으로 업로드 된다.

설계된 시스템은 향후 수백 채널의 데이터를 효율적으로 획득 및 디지털 변환 하기 위해 짧은 시간에 많은 채널의 데이터 수집을 위한 다중화 기법을 사용하였고 단순히 보드의 수를 늘리는 방법으로 채널수의 확장이 가능하도록 기능별, 모듈별 독립적인 설계를 하고 확장성이 뛰어난 VXI 플랫폼과 산업용 새시 구조로 설계 하였다. 또한 채널 확대 시 보드 간의 클럭 차이로 타이밍이 어긋나는 것을 방지하기 위해 별도의 클럭 보드를 두어 각 보드에 필요한 클럭 신호를 배분하여 보드간 동기를 맞출 수 있도록 하였다.

2. MUX 보드 및 AD 보드 설계

본 연구에서는 이번 연구의 목적인 심자도 신호용은 물론 향후 수백채널에 이르는 다채널 데이터를 수용하기 위해 데이터를 시분할 다중화 하여 입력 받도록 설계하였다. 또한 그림 3과 같이 MUX 보드와 AD 보드는 서로 타이밍이 정확히 일치해야 하므로 설계 시 정확한 타이밍에 다중화와 AD변환이 될 수 있도록 CPLD 컨트롤러를 설계하였다. MUX보드는 그림 3에서와 같이 내부적으로 16:1 다중화 2개의 블록으로 구성되어 있으며, 입력은 별도의 커넥터 보드를 통해 스카시 케이블로 연결되어 16채널당 한개의 다중화 블록에 의해 16:1 다중화가 일어나고 총 32개의 채널 입력을 받아 2채널의 16:1 다. 다중화된 신호가 출력되게 된다.

AD 보드 그림 4와 같이 역시 2개의 AD블럭으로 이루어져 있으며 2채널의 다중화된 신호를 각각 16bit의 디지털 데이터로 변환하게 된다. 변환된 16bit 데이터 2채널은 32bit 프로세서인 DSP의 LSB와 MSB에 각각 할당 되며 buffer를 거쳐 differential driver에 의해 전류 구동방식의 형태로 DSP에 전송된다.

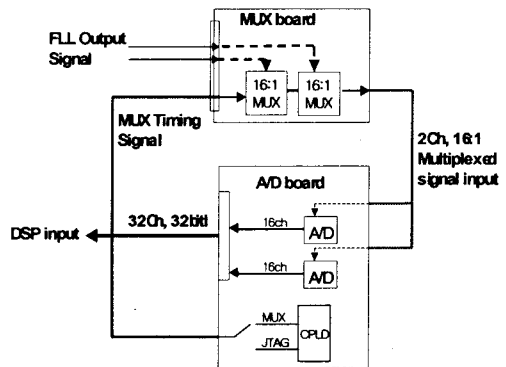


그림3. MUX보드와 A/D 보드의 인터페이스

AD보드에는 보드 컨트롤용으로 CPLD를 두어 AD변환기와 보드의 초기화 컨트롤, 샘플링 레이트 조정 MUX 입력과 DSP 입력 사이의 전송 속도, MUX 타이밍 컨트롤 신호 발생등의 컨트롤을 할 수 있도록 하였다. 특히 MUX 타이밍 컨트롤 신호의 경우 샘플링 시작 시점을 컨트롤 하여 채널번호가 쉬프트 되지 않도록 하였으며 CPLD를 굽기 위한 JTAG 포트와 공유하여 사용되어진다..

심자도 신호는 신호의 스펙트럼이 50Hz 이하에 존재하며 이를 고려하여 샘플링 레이트는 채널당 2KHz로 하였고, 데이터의 분해능은 16bit로 설정 하였다.

AD보드는 설계 시 노이즈에 면적 설계를 위해 전원 분리 분리, OP amp differential 입력 설계등을 하였다.

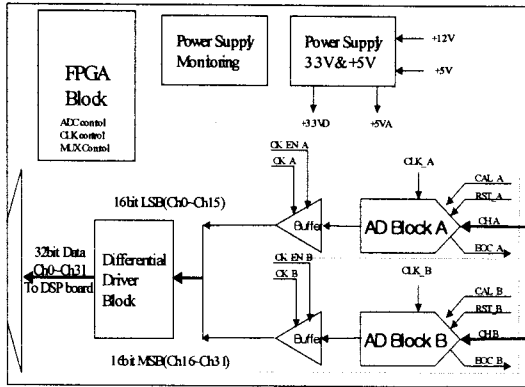


그림4. A/D 보드 구성도

3. 데이터 획득 및 처리용 DSP 보드 설계

설계된 시스템의 DSP 보드는 다중화와 리포매팅 된 데이터를 실시간에 역다중화와 데이터 일라인을 통해 원래의 32채널 16bit 신호로 분리 해내고 호스트 시스템의 메모리에 저장하는 최종적인 역할을 담당한다. 설계된 DSP 보드의 구조는 그림 5과 같다.

DSP보드의 메인 프로세서는 TI사의 TMS320C6701을 사용하였다. 이 프로세서는 부동 소수점방식이며 최대 167MHz의 클럭 속도를 낸다. 또한 32bit 프로세서로서 16bit 데이터 두개를 동시에 처리할 수 있다.

본 설계에서는 실시간에 AD 데이터를 계속적으로 획득하고 전송해야하기 때문에 대용량을 가지며 बैं크 변환시 시간 지연이 많이 생기는 SDRAM은 사용하지 않았으며 획득된 데이터의 저장은 SRAM에 하도록 하였다. 동작 클럭은 클럭보드의 35MHz입력을 받아 PLL에 의해 140Mhz로 동작 하도록 하였으며, 높은 동작 주파수를 가지므로 PLL filter를 사용하여 오동작을 방지하였으며 높은 주파수에서 동작하는 회로의 안전성에 주안점을 두고 설계하였다.

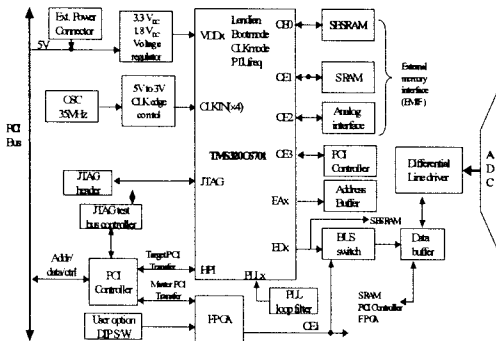


그림 5. ACQ용 DSP 보드의 구조

임시 저장된 획득 데이터의 호스트 전송은 자체 내장된 DMA 엔진을 사용하여 CPU에 부담을 주지 않고 빠른 속도로 데이터를 전송 할 수 있도록 디자인 하였

다.

메모리 맵상에는 프로그램 메모리로 사용될 SBRAM은 CE0, SRAM은 CE1, Analog interface는 CE2, PCI controller인 PCI9080은 CE3에 각각 할당하였다.

샘플링된 데이터는 DSP의 인터럽트를 통해 획득되어지고 또한 인터럽트에 의해 획득된 데이터를 호스트로 전송하게 된다.

III. 펌웨어 설계 및 데이터 획득 시험

1. 역 다중화 및 데이터 정렬

32채널의 아날로그 신호가 디지털로 변환되어 최종적으로 DSP 보드에 전송되는 데이터는 그림6과 같이 16:1 시분할 다중화 및 MSB 와 LSB에 각각 서로 다른 채널의 데이터로 리포매팅 되어져있다.

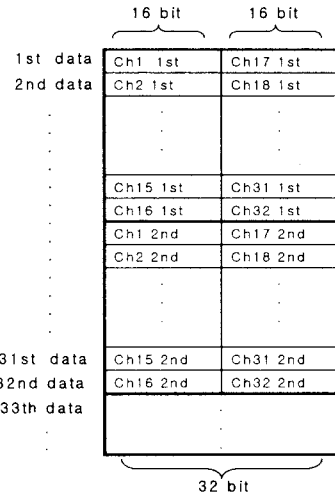


그림6. AD변환을 통해 획득된 data 구조

이들 채널별로 분리 해 내기 위해서는 채널별 메모리 구조를 설계하고 획득된 데이터를 재 정렬 해야 한다.

데이터의 재배치를 위해서는 먼저 획득된 데이터를 shift operation을 통해 상위와 하위 16bit씩 분리 해내고 이를 다시 Ch1부터 Ch16까지 그리고 Ch17부터 Ch32 까지 차례대로 배치하여 역다중화 해야 한다. 역다중화와 데이터 재정렬된 데이터는 호스트 시스템으로 전송되어 실시간에 디스플레이 되어진다. 이를 위한 일련의 과정을 빠른 시간에 처리 하기 위한 DSP 프로그래밍을 하였다..

2. 시스템 동작 Flow

DAQ 시스템과 Master 컴퓨터는 역할이 뚜렷하게 구분 되어진다. DAQ 시스템은 데이터의 획득과 관련된 역할과 이를 실시간에 모니터링 할 수 있는 기능을 제

공하게 된다.

시스템의 동작 순서는 그림7과 같다.

Master 컴퓨터로부터 DAQ 시작 명령을 받게 되면 DAQ 컴퓨터는 각 보드에 DAQ 시작 신호를 보내게 되고 데이터 획득이 진행 된다. 획득된 데이터는 DSP 보드를 통해 DAQ 컴퓨터로 전달 되고 DAQ 컴퓨터는 각 채널값을 재배치하고 이를 실시간에 모니터링 할 수 있도록 그래프로 그려준후 획득된 데이터를 계속 버리게 된다.

모니터링 중에 recording 명령을 받으면 데이터를 메모리에 쌓고 수시로 하드디스크에 실시간으로 저장 하게 된다.

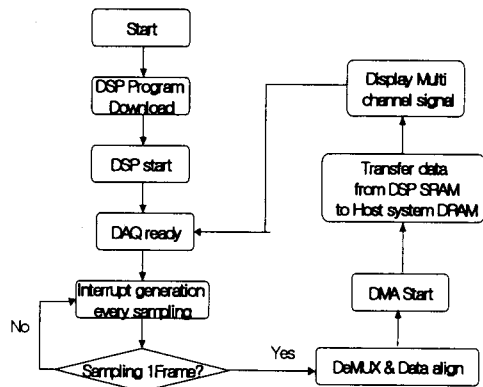


그림7. 설계된 시스템의 동작 Flow

3. 시스템 시험결과

구현된 시스템의 사진은 그림8과 같으며 시스템의 정상 동작을 확인하기 위해 채널 1~16번에는 다양한 주파수의 sine파와 정현파를 각각 인가하였고 채널 17~32번에는 DA 변환기를 통해 심장 전류원 신호를 모의하여 인가 했으며 그림9와 같이 깨끗한 신호를 얻을 수 있었다.

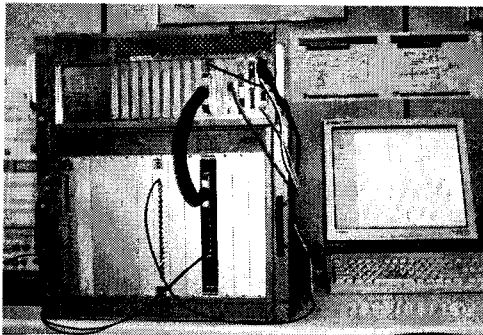


그림8. 구현된 시스템

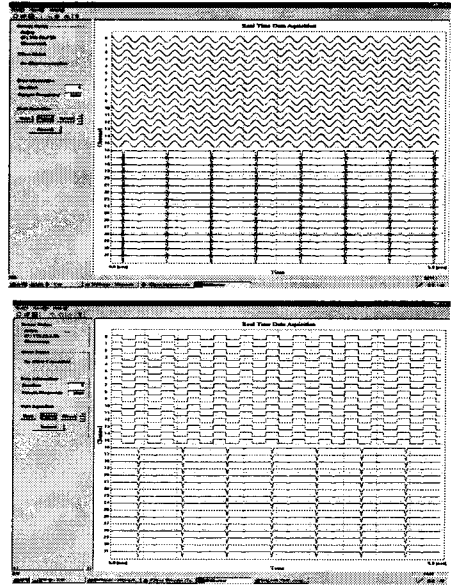


그림9. 시스템의 데이터 획득 시험 결과

IV. 결론

본 논문에서는 다채널의 생체자기 신호를 획득하기에 적합하며 효율적인 구조를 가지는 다중화 DAQ 시스템을 설계하였으며 그 기능을 검증 하였다. 설계된 시스템은 향후 수백채널의 실시간 데이터 획득이 요구되는 뇌자도 시스템 등에 적용이 가능하도록 기능별, 모듈별 독립설계를 하고 다중화 기법을 적용하여 뛰어난 확장성과 데이터 처리 속도를 가지며 프로그램의 변경 만으로 샘플링 레이트를 조정할 수 있는 등 유연성을 확보하고 펌웨어의 기능 향상이 용이하도록 설계 하였다. 향후 설계된 시스템의 최적화를 통해 모듈별 처리 채널 수를 증가시키고 시스템의 복잡도를 낮추고자 한다.

참고문헌

- [1] K. Okajima, T.Komuro, N.Harada, A.Adachi, M.Ueda, A.Kandori, G.Uehara and H.Kado, "A 64-channel DC-SQUID magnetometer system," Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, vol. 3, pp. 1494-1497 1993.
- [2] M. Karvonen, M.Lindholm, J.Nenonen, M.Liehr, J.Schreiber, J.Haueisen and T.Katila, "Comparison of MCG and ECG dipole localisation in a phantom with a thin inhomogeneity layer," in *Biomag2002, Proc. 13th Int. Conf. on Biomagnetism*, Jena, Germany, pp. 768-770, 2002.

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발사업의 지원으로 수행하였음.