2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

실시간 심자도 신호처리 시스템

◦ 정동현, 임준성, 김판기, 고광혁, 이동훈, 김휴정, 안창범
광운대학교 전기공학과

Real-time MCGSignalProcessing System

◦ D. H. Chung, J. S, Lim, P. K. Kim, K. H. Ko, D. H. Lee, H. J. Kim, C. B. Ahn
Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

Abstract - 심자도(Magnetocardiography: MCG)는 심장에서 발생하는 자기신호로 크기가 수 pico Tesla에서 수 femto Tesla 정도로 지구 자기에 비하여 10^{-6}~10^{-10} 정도로 매우 작기 때문에 보통 3층의 차폐막 구조로 되어 있는 자기차폐실을 사용하여 외부 잡음을 줄인다. 그러나 자기차폐실의 비용이 크기 때문에, 자기차폐실의 비용을 줄이고 다양한 신호처리를 병행하여 신호대잡음비를 높이고 있다. 본 논문에서는 1 Giga FLOPS (FLoating point Operationals Per Second)의 부동 소숫점 연산능력을 가진 TMS320C6701을 사용하여 실시간 신호처리가 가능한 신호처리 시스템을 설계하였다. 개발된 DSP 보드는 PCI-bus 기반으로 설계하여 신호 측정 컴퓨터에 내장이 가능하도록 하였다. 프로그램과 데이터 처리를 위한 외부 메모리를 장착하였고, PCI 콘트롤러를 갖추어 PC와의 대용량 메모리 공유가 가능하도록 하였다. 제작된 DSP 보드를 사용하여, 심자도 신호에서 실시간으로 적응 잡음 소거 및 필터링을 구현하여 신호대잡음비의 향상을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

생체 자기 신호를 측정하는 것은 1968년 데이비드 코헨에 의하여 처음으로 1 채널 심자도 신호를 측정함으로써 시작되었다.[1] 이후 미국 MIT 자기 연구소등 선진 각국에서 활발히 진행되고 있다. 특히 선진국에서는 병원과 연구기관이 공동으로 생체 자기를 이용한 의료 진단이나 뇌기능에 대한 연구가 수행되고 있으며, 최근에는 기업 연구소의 참여도 활발하여 머지 않아 보편적인 의료 진단기술로 실용화가 이루어 질 것으로 기대되어 진다. 생체 자기 신호는 인체 내의 장기의 동작과 관련한 전기적인 신호로부터 만들어지기 때문에 장기의 동작 및 기능과 관련한 정보를 내포하고 있다. 심자도(Magnetocardiography: MCG) 시스템은 심장에서 발생하는 자기신호를 측정하기 위한 시스템으로서 자속의 변화에 따른 자기 신호를 측정하기 때문에 인체의 저항성분에 영향을 받지 않으며, 비파괴적, 비접촉 측정이 가능하며, 시간 분해능이 우수하기 때문에 인체의 유용한 정보를 얻을 수 있다. 또한 심자도는 자장을 발생시키는 활동전류에 대한 3차원적인 정보를 얻을 수 있다. 심자도의 자장의 크기는 수 pico Tesla 정도로 작기 때문에 외부 자기잡음을 차단하기 위한 자기 차단실이 필요하고, 측정된 신호에서 신호대잡음비를 높이기 위한 다양한 신호처리가 필요하다. 이러한 신호처리 알고리즘에는 보통 많은 계산이 필요하기 때문에 많은 경우 실시간 처리를 하지 못하고, 데이터를 측정한 후 후처리(post processing)를 하여 왔다. 이러한 후처리에는 추가적인 인력과 시간이 소요되고, 실시간으로 측정데이터를 확인할 수 없기 때문에 측정 시 발생될 수 있는 문제점에 적절히 대응하기가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 DSP 기반 실시간 신호처리 시스템을 개발하여 심자도 신호처리에 적용하였다.

2. 본 론

2.1DSP보드디자인

DSP 칩은 디지털 신호처리를 위하여 매우 빠른 연산을 수행할 수 있도록 개발된 프로세서이다. 사용된 DSP 칩은 초당 10억 번의 부동 소숫점 방식의 Texas Instruments (TI) 사의 DSP인 TMS320C6701을 사용하여 디지털 신호처리 보드를 설계하였다. 이 DSP는 167 MHz (6-ns cycle time)의 클럭을 사용하여 최대 1 Giga FLOPS (floating-point operations per second)의 연산능력을 가지고 있고 매 사이클마다 8개의 32-bit 명령어를 병렬 수행하는 구조를 가지고 있다. DSP 칩내부에는 8개의 병렬 프로세서가 있어 매 사이클마다 8개의 32- bit 명령어를 수행한다. DSP 칩 내부에는 64 KByte 의 데이터와 프로그램 메모리를 각각 가지고 있다. 내부 데이터 메모리를 사용하게 되면 DSP 내부 클럭과 동기가 되어 동작하므로 빠른 데이터 접근이 가능하여 외부 메모리에서 접근하는 것보다 빠른 연산을 수행하게 된다. 32-bit 외부 메모리 인터페이스는 SDRAM (Synchronous Dynamic RAM), SBSRAM (Synchronous Burst Static RAM), SRAM 과 확장성의 외부 메모리 요구와 최대 시스템 성능을 갖는 다른 비동기 메모리를 지원한다. DSP 보드는 PCI bus 기반으로 설계하였다. 많은 양의 데이터를 DSP 보드에서 직접 처리할 수 있도록 2 MByte의 SRAM을 외부 메모리로 장착하였고, 프로그램의 확장을 위하여 외부에 DSP와 같은 속도로 응답을 하는 고속의 512 KByte의 SBSRAM을 장착하였다. DSP 보드를 MCG 측정 컴퓨터의 PCI 슬롯에 장착하여 대용량의 PC 메모리를 DSP가 공유할 수 있도록 PCI controller로 PLX Tech의 PCI9080을 사용하였다. 이 칩은 두 개의 독립적인 연쇄 DMA 채널과 함께 호스트와 로컬 메모리간의 대기상태 제로의 버스트작동을 위한 8개의 프로그램이 가능한 양방향 FIFO를 제공한다. PCI9080과 TMS30C6701 DSP가 서로 다른 클럭을 사용하고, I/O 동작 클럭이 다르기 때문에 둘 사이의 타이밍을 맞추기 위하여 ALTERA사의 FPGA 칩을 사용하였다. 또한, PCI를 위한 arbiter와 주변장치 제어를 위한 논리 회로를 FPGA 칩에 내장하였다. DSP 보드는 자체 클럭 모드와 외부 클럭 모드로 동작이 가능하다. DSP 보드의 전체 구조를 그림 1에 나타내었고, 개발된 DSP 보드의 사진을 그림 2에 보였다.

2.2실시간심자도신호처리

본 연구에서 실시간 신호처리 시스템으로 개발된 DSP 보드를 MCG 신호의 실시간 신호처리에 적용하였다. 측정된 신호의 신호대잡음비를 높이기 위하여 구현된 신호처리 기법은 적응필터를 이용한 noise subtraction 과 다양한 필터들이다.

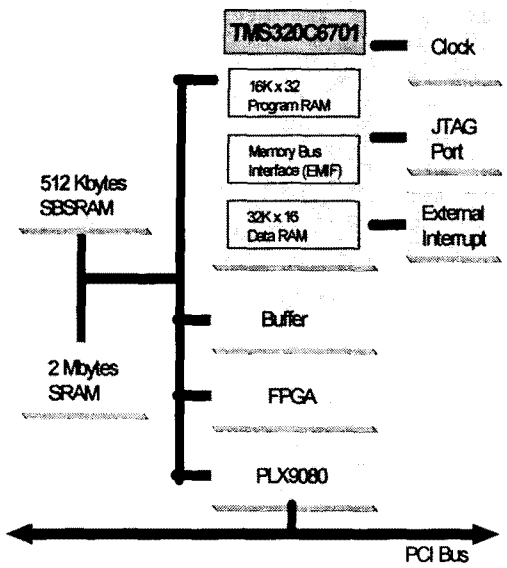

그림 1 DSP 보드의 구조

그림 2 제작된 DSP 보드 사진

노이즈의 통계적 특성이 시간적으로 변화하는 경우이거나 노이즈의 통계적 특성이 시간적으로 변화하는 경우 적응 필터의 사용은 불가피한데, 적응필터를 이용한 noise subtract은 가장 효과적인 잡음 제거 방법 중의 하나로 노이즈 제거 모델과 적응 주기 결정 등의 성능은 참고문헌 [2-3]에 제시되어 있다.

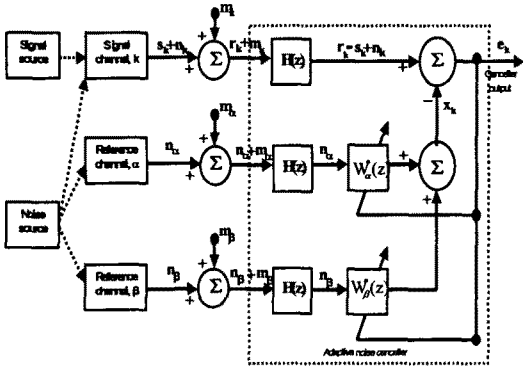

그림 3 외부 노이즈 신호를 제거하기 위한 노이즈 제거 모델

TMS320C6701은 8개의 프로세서로 구성되어 있고, 명령어 마다 수행 사이클이 서로 다를 수 있기 때문에 프로그램의 효율적인 수행을 위해서는 병렬 프로세싱과 pipelining을 잘 활용하여야 한다. 설계된 DSP 보드를 사용하여 적응 필터를 이용한 noise subtraction 과 다양한 필터의 실시간 신호처리가 가능하였으며, 보다 다양한 고급 신호처리 기법들이 현재 구현 중에 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 측정된 심자도 신호의 신호대잡음비를 개선하기위하여 실시간 신호처리가 가능하도록 고속 DSP 칩을 사용한 신호처리보드를 설계하였다. 개발된 DSP 보드는 PCI-bus 기반으로, 1 Giga FLOPS의 부동 소숫점 연산능력을 가진 TMS320C6701을 사용하였고, 외부 메모리 인터페이스는 SDRAM, SBSRAM, SRAM 과 확장성의 외부 메모리 요구와 최대 시스템 성능을 갖는 다른 비동기 메모리, PCI 콘트롤러를 갖추어 PC와의 메모리 공유가 가능하도록 하였다. 제작된 DSP 보드를 심자도 시스템에 적용하였으며, 실시간으로 적응 잡음 소거 및 필터링을 구현하여 신호대잡음비의 향상을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Matti Hämäläinen, Riitta Hari, Risto J. Ilmoniemi, Jukka Knuutila, and Olli V. Lounasmaa, "Magnetoencephalography-theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain," Reviews of Modern Physics, vol.65, No. 2, pp.413-497, April 1993.

[2] C.B. Ahn, D.H. Lee, W.C. Shin, H.C. Kwon, and Y.H. Lee, "Adaptive noise subtraction for measurement of evoked field with various models and adaptation parameters," Proceeding of the Biomag2000, pp.887-890, Espoo, Finland, (2000).

[3] 이동훈, 안창범,"적응 필터를 이용한 청각 자극에 의한 뇌자도 신호에서 노이즈 제거," 대한전기학회지, 52D권 10호, pp.606-610, 2003.