
인체신호 측정을 위한 SoC 구현에 관한 연구

선혜승* · 송명규** · 이재흥**

A Study on the Implementation of SoC for Sensing Bio Signal

Hye-Seung Sun* · Myoung Gyu Song** · Jae-Heung Lee**

요 약

본 연구에서는 인체의 미약한 신호들을 검출하여 정확하게 복원한 뒤, 사용자에게 다양한 방법으로 알려주는 인체신호 측정 모듈 구현에 대하여 기술한다. 본 연구에서 구현한 모듈은 적색 광을 이용하여 인체의 맥박을 측정하는 광전용 적맥파 방식의 센서부와 온도 센서를 이용한 체온 측정부, SoC 설계 기법으로 구현된 컨트롤러로 구성된다. 맥박은 0.1 Hz ~ 10Hz 주파수 영역신호를 검출하여 증폭한 뒤 상용 노이즈를 제거하여 검출되며, 체온은 디지털 타입의 센서가 체온을 측정한 뒤 출력하는 값으로부터 검출된다. 또한, 이 모듈에 대한 SoC 구현의 노력으로서, 시스템 컨트롤러를 대체할 수 있도록 VHDL 기반의 마이크로프로세서를 구현하였다. 구현된 프로세서는 10MHz로 동작하며, FPGA 칩인 Spartan 3 XC3S1000 안에서 매크로 블록으로 구성된 메모리들과 함께 검증되었다.

ABSTRACT

In this paper, the implementation of a human signal sensing module that has capabilities to check and restore the weak signals from the human body is presented. A module presented in this paper consists of processing and sensing elements related to human pulse and body temperature and a controller implemented with SoC design method. PPG data is detected by a noise filtering process toward the amplified signal which is from the operating frequency between 0.1Hz - 10Hz. A digital temperature sensor is used to check the body temperature. A sensor outputs the corresponding value of the electric voltage according to the body temperature. Moreover, this paper discusses the implementation of an enhanced microprocessor which is synthesized with VHDL as a part of the SoC development and used to control the entire module. The SoC processor is implemented on a Xilinx Spartan 3 XC3S1000 device and has the achieved operating frequency of 10MHz. The implemented SoC processor core is successfully tested with macro memories in FPGA and the experimental results are hereby shown.

키워드

인체 신호, 광전용 적맥파, 포토다이오드, 맥박, 체온, SoC

Key word

Human signal, PPG, Photodiode, Pulse, Body temperature, SoC

* 반도체설계교육센터
** 한밭대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 2009. 07. 22
심사완료일자 : 2009. 08. 14

I. 서 론

현대 사회의 스트레스 장애 및 기타 요인에 의한 각종 질병이 만연함에 따라 최근 개인 건강관리에 대한 관심이 높아지고 있다.

그에 따라 Bio-Information Technology(BIT)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 특히 자유로운 이동이 가능하고 즉각적인 감지가 가능한 바이오센서를 이용한 제품 개발에 대한 노력이 집중되고 있다[1]. 현재 개발되고 있는 제품들은 대다수가 단일 모듈 형태로서, 경쟁력을 갖추기 위해서는 소형화, 저가격화, 구현의 편리성 등의 장점을 갖는 SoC(System On Chip) 화에 대한 노력이 필요하다[2]. 따라서 본 연구에서는 인체의 미약한 맥박과 체온을 측정하는 시스템을 모듈형태로 구현하고 SoC 기반의 마이크로프로세서 코어를 구현하였다. 구현한 모듈을 실험한 결과, 인체 신호는 맥박 및 체온이 정확하게 측정되었음을 확인하였고, SoC 타입으로 구현한 마이크로프로세서는 기존 프로세서에 비하여 구동능력이 향상되었음을 확인하였다.

II. 인체 신호 측정 모듈 개요

2.1 맥박 측정 및 제어 방법

본 연구에서 사용한 맥박 측정 방법은 적색광을 이용한 광전용 적맥파 방법이다. 측정을 위해서는 손가락을 향해 적색광을 발산하는 발광부와 손가락을 통과하거나 반사된 광량을 수신하는 수광부가 필요하다. 발광부는 고휘도 LED를, 수광부는 가시광선 영역에 민감한 포토다이오드를 사용하는데, LED에서 광센서로 투과되는 지점에 손가락을 삽입하여 반사되는 빛을 광센서가 임도록 한다. 수광부의 광센서는 빛을 수신한 뒤 그에 상응하는 전류를 출력하는데, 심장 박동에 의한 혈류 양에 따라 수신 광량이 달라진다. 그림 1은 광전용 적맥파 측정방법을 나타낸다[3]. 본 연구에서는 출력된 전류를 전압 값으로 변환 후 0.1Hz 부터 10Hz 사이에 분포하는 신호를 검출하였으며, 검출된 신호를 정확하게 복원하여 맥박신호로 이용하였다[4-7].

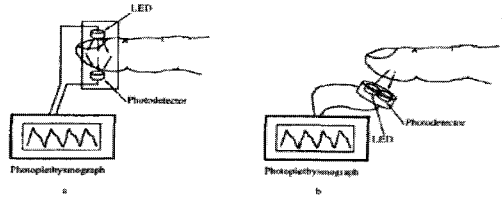


그림 1. 광전용 적맥파 측정[3]
Fig. 1 Measurement of PPG(Photoplethysmograph)[3]

III. 본 논문의 연구 및 구현방법

그림 2는 본 연구에서 구현한 인체 신호측정모듈의 블록도를 나타낸다. 전체 모듈은 크게 3부분으로 구성되는데, 광전용 적맥파 방식의 맥박측정부와 서미스터 센서를 이용한 온도 측정부, 마이크로 프로세서기반의 컨트롤러이다.

맥박측정센서부에서 측정된 신호는 전류 값으로 출력된다. 이 신호는 전압 값으로 변환된 뒤 고역통과필터에 인가되고, 0.1Hz 차단 주파수를 기준으로 하는 필터링 과정을 거치게 된다. 필터를 거침에 따라 감쇄된 신호는 증폭된 뒤 노치필터에 인가된다. 상용주파수 60Hz를 차폐하기 위한 필터링 과정을 거친 뒤 저역통과 필터로 인가된 신호는 10Hz 차단 주파수를 기준으로 필터링 되어 정확하게 복원된다.

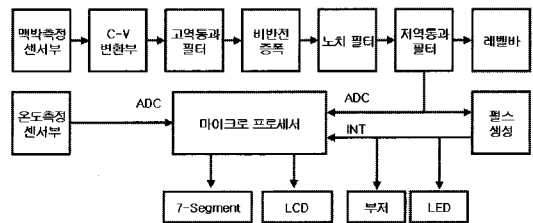


그림 2. 인체 신호측정모듈의 블록 다이어그램
Fig. 2 Block diagram of bio signal sensing module

최종 신호는 아날로그 신호로서 마이크로프로세서의 ADC 입력단자와 레벨바 및 펄스 생성부로 인가된다. 레벨바는 일정한 크기의 LED 배열로서 입력된 DC 타입 전압크기에 따라 현재 입력되는 파형의 크기 및 상황을 보여준다. 펄스 생성부는 입력된 신호를 2.0V 기준으로 비교하여 0과 1값을 갖는 신호를 생성한 뒤, 마이크로프

로세서의 INTO 핀에 출력하여 맥박수를 체크하도록 하는 동시에 부저 및 LED로 출력하여 현재 맥박펄스가 정상적으로 입력되고 있음을 나타내도록 한다.

온도 측정 센서부는 디지털 타입의 센서를 포함하고 있다. 선형성이 높은 센서가 온도에 따라 그에 상응하는 DC 타입 전압을 출력하면, 이를 마이크로프로세서의 ADC로 인가한다. 모듈의 전반적인 구동을 담당하는 마이크로프로세서 기반의 컨트롤러는 ADC를 통해 입력된 온도 및 맥박 신호를 각각 처리한 뒤, 7-Segment와 그래픽 LCD로 연산 결과를 출력한다.

3.1 맥박 측정 센서부

그림 3은 맥박측정을 위한 고휘도 LED 발광부와 포토다이오드 기반의 수신부를 나타낸다. 적색광을 발광하는 LED와 포토다이오드 사이에 손가락을 갖다 대어 반사된 광량을 포토다이오드가 읽는 방식으로 동작되는 컴포넌트이다. 구현에 사용한 포토다이오드는 총 인식파장 범위가 450 - 1050nm로서, 적색 광에 해당하는 800 - 900nm 에서 가장 좋은 특성을 보이며 읽어 들인 광량에 따라 선형적으로 전류를 출력한다. 포토다이오드에서 출력된 전류는 R76 10kΩ을 거쳐 전압으로 변환 및 증폭된 뒤 다음 회로로 인가된다.

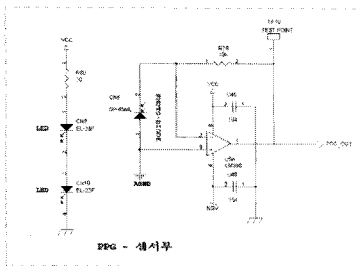


그림 3. 맥박 측정 회로
Fig. 3 PPG sensing circuit

3.2 고역, 저역 통과 필터

그림 4는 맥박 신호처리에 필요한 고역통과 필터를 나타낸다. 입력받은 전압신호 중에서 0.1Hz 이상의 신호를 통과 시키는 역할을 한다. 필터는 2차 회로로 구성하여 안정적인 신호를 출력하도록 하였고 기본차단 주파수를 만들기 위해 저항 값을 조정하였다. 고역 통과 필터를 거친 신호는 증폭된 뒤 상용주파수 60Hz를 차폐하는 노치필터를 거쳐 저역 통과 필터에 인가된다.

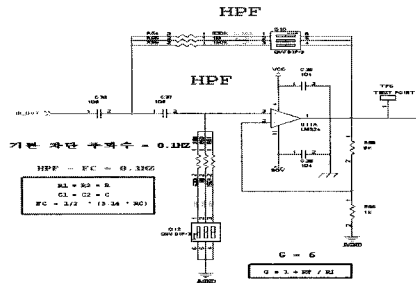


그림 4. 고역 통과 필터
Fig. 4 High pass filter

그림 5는 저역통과 필터를 나타낸다. 고역통과 필터와 마찬가지로 2차 회로로 구성되어 안정적인 신호를 출력한다. 차단 주파수는 10Hz이며 필터를 통과한 신호는 음전압과 양전압 성분을 모두가지고 있다. 이 신호는 마이크로프로세서와 레벨 바 및 펄스 생성부로 인가되는데, 음전압이 디지털 IC의 동작오류를 발생시킬 수 있으므로 이를 차단하기 위해 베이스 클램핑 회로를 구성하여 전체 시스템을 보호하였다. 또한, 전체 모듈에서 쓰고 있는 기준 전압치를 넘는 신호를 차단하기 위하여 제너 다이오드를 연결하였다.

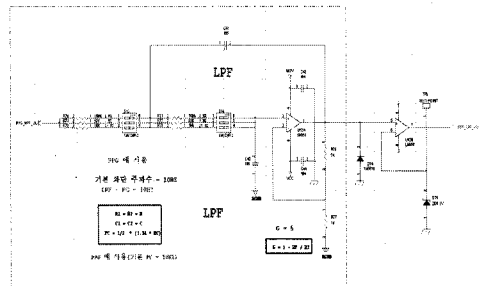


그림 5. 저역 통과 필터
Fig. 5 Low pass filter

3.3 SoC 기반의 마이크로프로세서 구현

본 연구에서는 구현된 인체신호 측정 모듈을 SoC화하기 위하여 VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language) 기반의 마이크로프로세서를 구현하였다. 10MHz의 동작주파수를 갖는 마이크로프로세서는 기존 8051 프로세서와 호환가능하며, 내부 램, 외부 램 및 외부 롬을 인터페이스 할 수 있다.

그림 6은 구현된 프로세서 코어의 RTL레벨 스키매틱

을 나타낸다. 오른쪽 상단의 마이크로프로세서 코어와 왼쪽 상단의 128바이트 내부 램 및 왼쪽 하단의 32k 바이트 외부 램을 확인할 수 있다. 총 게이트는 5000여 개로서 XILINX FPGA에 다운로드 된다.

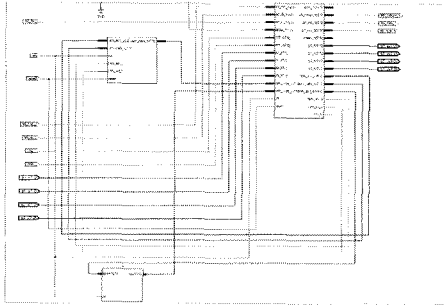


그림 6. 프로세서 코어 구조
Fig. 6 Processor core architecture

기존 프로세서에 비해 향상된 점들은 다음과 같다.

첫째로, 포트 0부터 3가지를 삼-상태로 쓰던 방식을 독립된 입, 출력 핀으로 구분하였다. SoC 설계 시 일반적으로 삼-상태를 사용하지 않으며, 전력 소모량에서 성능이 더 좋기 때문이다.

둘째로, 메모리 관련 시그널들을 개별적으로 정의하였다. 내부 램, 외부 램, 외부 램에 대한 주소와 읽기, 쓰기 시그널, 데이터 라인을 독립적으로 정의하여 동시에 모든 메모리로부터 데이터를 취득할 수 있다.

셋째로, 타이머와 직렬전송 유닛의 수를 정의할 수 있도록 매개변수 기반으로 설계하여 확장된 기능을 구현할 수 있다.

넷째로, 명령어 수행 클럭 사이클 수가 감소되었다. 기존 8051은 1개 명령 처리에 총 12클럭이 소요되었지만 본 연구에서 구현된 마이크로프로세서는 최대 4클럭 내에 명령을 처리할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

그림 7은 본 연구에서 구현한 인체 신호 측정 시스템 및 테스트 환경을 나타낸다. 모듈의 왼쪽에서 맥박 측정 센서부를, 오른쪽 하단에서 온도센서를 확인할 수 있다. 맥박 신호가 각종 필터를 거쳐 프로세서로 인가되는 전

체 과정을 알 수 있도록, 모듈 기판에 테스트 포인트를 구현하였다. 모든 파형은 오실로스코프를 사용하여 추출하고 신호의 필터링 여부를 검증할 수 있도록 FFT (Fast Fourier Transform) 변환을 하였다.

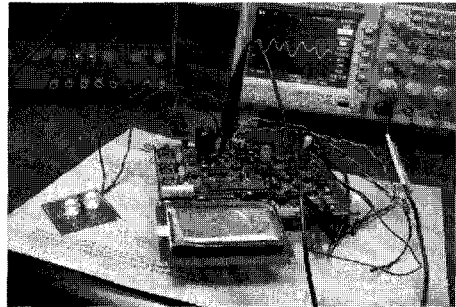


그림 7. 인체 신호 측정 모듈 및 테스트 환경
Fig. 7 Human signal sensing module and the test environment

4.1 각 핵심 부분별 결과 파형

그림 8은 맥박 검출을 위한 각 핵심 부분의 파형을 오실로스코프를 이용하여 확인한 결과이다. 황색은 센서, 하늘색은 신호증폭, 분홍색은 노치필터, 녹색은 최종 생성된 맥박 파형을 나타낸다. 그래프의 세로축에 있는 숫자는 각 파형의 그라운드 지점을 색깔별로 나타낸다.

각 파형들은 신호의 왜곡이나 큰 딜레이 없이 측정되고 있음을 확인할 수 있는데 특히 맥박 파형을 나타내는 최종 구형파 펄스는 최대 5V 이하의 범위에서 센서 신호와 동기 되어 정확히 검출됨을 보여주고 있다[8].

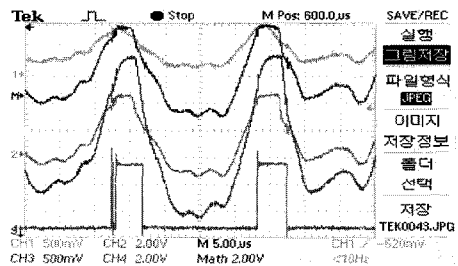


그림 8. 각 센서 출력과 최종 구형파 펄스
Fig. 8 Output pulses from each sensor and the final square wave

그림 9는 FFT 수행결과를 나타낸다. 측정된 파형을 주파수 도메인으로 바꾼 결과로서, 가로축은 좌측의

0Hz부터 그리드 당 12.5Hz 단위로 구성된다. 본 연구에서는 0.1Hz - 10Hz 까지를 맥박신호로 처리하고 있는데, 그림에서는 0Hz - 12.5Hz 범위 안에 거의 모든 데이터가 수렴되고 있음을 확인할 수 있다. 이상의 결과 파형들을 통해서 구현된 모듈은 인체의 맥박을 정확하게 측정하고 복원함을 알 수 있다.

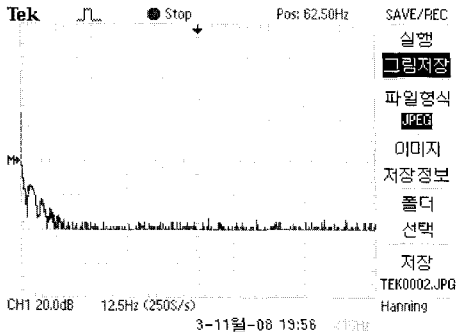


그림 9. FFT 수행 결과
Fig. 9 Results from FFT processing

4.2 오차율 실험

맥박 및 체온을 여러 가지 상황에서 반복적으로 측정하여 자체적인 오차율을 검증했다. 신장과 체중이 모두 다른 피 실험자 5명에 대해 아침, 점심, 저녁마다 각각 3번씩 측정을 하였다. 신체적인 활동을 적어도 15분 동안 하지 않은 평온한 상태에서 동일한 장소와 시간에 측정을 하였다. 맥박은 검지와 엄지손가락으로 센서를 잡은 상태에서 측정했으며 체온은 센서를 손목부위에 위치시킨 뒤 측정했다. 그림 10은 실험 결과를 나타낸다.

체온은 전체 피 실험자를 통틀어 동일 시간대에서의 최고치와 최소치의 차이가 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 이고, 맥박의 경우 ± 3 회로 나타났다. 이를 볼 때 자체적인 오차율은 신뢰도면에 있어서 양호한 것으로 판단된다.

피 실험자	신장 cm	체중 kg	맥박(단위 : 횟수)									체온(단위 : 섭씨온도)										
			아침			점심			저녁			아침			점심			저녁				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	171	55	70	70	68	69	59	70	70	66	72	56.6	38	38.5	38	37	37.1	37.1	26	26.1	26.6	
2	179	59	75	74	78	70	71	74	69	70	68	28	28	29	35	30	29.7	28.7	29.0	30	30.3	
3	155	52	70	70	73	67	38	70	65	67	65	30.6	30.3	31	31.8	30.5	29.2	29.0	30.0	30.3		
4	173	35	78	77	75	70	58	70	68	69	68	28.2	29.3	29.6	30	29	23.9	23	29.5	31		
5	170	54	71	69	69	70	70	68	69	70	67	30	30.1	30.6	32	32.7	31	31	30.3	31.5		

그림 10. 오차율 실험 결과
Fig. 10 Results from the experiments of the error ratio

4.3 마이크로프로세서 코어 시뮬레이션

본 연구에서는 프로세서 코어의 컴파일과 시뮬레이션을 위해서, 반도체 설계 교육 센터(IDE)에서 지원받은 툴인 Xilinx와 ModelSim을 이용하였다. 그림 11은 설계된 마이크로프로세서의 Static 타이밍 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

P0에 온도 데이터가 입력되는 모습을 볼 수 있다. 온도 데이터는 테스트 벤치에서 부여하는 A/D변환된 데이터이며 내부에서 온도 데이터를 적용하여 P1로 출력하고 있다. P2는 온도 데이터가 들어오는 동안 1이 되어 외부 LED를 켜는 동작을 수행한다. 맥박 펄스는 Active Low인 INTO핀으로 입력되는데 내부 타이머가 계수하는 일정 시간동안 P3으로 카운팅 계수, 즉 맥박수를 출력한다. 이 시뮬레이션을 통해서 설계한 마이크로프로세서 코어는 정상적으로 동작함을 알 수 있다.

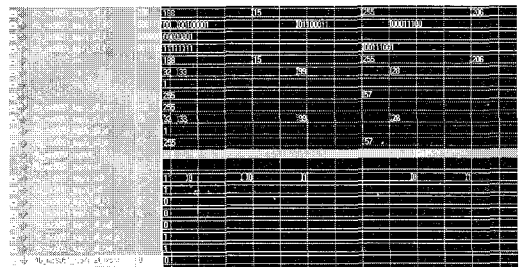


그림 11. Static 타이밍 시뮬레이션
Fig. 11 Static timing simulation

V. 결론

본 논문에서는 새롭게 연구되고 있는 BIT 분야에 대한 연구로서 인체 신호 측정 모듈을 구현하고 이를 SoC 화하기 위해서 마이크로프로세서를 VHDL을 이용하여 구현하고 전체적인 동작을 검증하였다. 본 연구에서 측정된 맥박신호는 0.1Hz에서 10Hz사이의 신호로서, 구현 시 Op-Amp 인가전압 및 각종 소자들의 특성을 조절하여 정확한 신호를 복원하였다.

설계된 마이크로프로세서는 기존 프로세서의 기능을 VHDL 언어의 장점을 이용하여 개선하였다. 외부입, 출력 포트 이외에 각 메모리 전용 핀을 정의하여 더 많은 입, 출력 핀을 사용 가능하도록 하였고, 타이머 및 직렬

전송 유닛의 수를 조절 가능하도록 하여 기존 프로세서보다 높은 효율을 거두었다.

본 연구에서 구현된 모듈의 SoC화를 위해서 마이크로프로세서 코어에 대하여 Semi-Custom 설계과정을 적용하고, 각종 필터와 증폭부 및 A/D 변환기에 대하여 Full-Custom 설계 과정을 적용하여 온칩화의 실제 구현을 위한 노력을 계속할 계획이다. 그리고 SoC 환경의 바이오센서 구현에 대한 연구가 계속 되어야 할 것이다[9].

참고문헌

- [1] 안세영, 산업용 SoC, KISTI, pp. 6-18, 2008.
- [2] Lei Wang, "A Programmable Microsystem Using System-on-Chip for Real-time Biotelemetry", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.52, 2005.
- [3] Per Ask, P. Ake Oberg. "Blood Flow Measurements." Copyright 2000 CRC Press LLC. <http://www.engnetbase.com>
- [4] 정동근 외, 교육용 광전용적맥파 계측 키트, 대한민국특허청 등록실용신안공보, 2006.
- [5] Drzewiecki, G. 2000. Noninvasive arterial bloodpressure and mechanics, pp. 1-16, In Bronzino, J.D.(eds.), The Biomedical Engineering Handbook, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [6] Fronck, A. 1989. Noninvasive diagnosis in vascular disease. McGraw Hill, New York.
- [7] Ito, H., K. Yamakoshi, and T. Togawa. 1976. Transthoracic admittance plethysmography for measuring cardiac output. J. Appl. Physiol. 40, 451-454.
- [8] 장봉렬 외, MRI용 심전도/혈류 게이팅 시스템 설계, J. Biomed. Eng. Res : 132-138, 2007
- [9] Oliver Brand, "Microsensor Integration into Systems-On-Chip", Proceedings of the IEEE, Vol.94, No.6, 2006.



선혜승(Hye-Seung Sun)

2007년 한밭대학교
정보통신공학과(공학사)
2009년 한밭대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)

2009년~현재 반도체설계교육센터 연구원
※관심분야: Bio-Technology, 임베디드 시스템,
SoC 설계



송명규(Myoung Gyu Song)

2005년 한밭대학교 전자공학과
(공학사)
2007년 한밭대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)

2007년~현재 한밭대학교 컴퓨터공학과 박사과정
2001년~현재 미건 의료기 연구소장
※관심분야: 의공학, 임베디드, SoC, 의료정보 전송
시스템



이재흥(Jae-Heung Lee)

1983년 한양대학교 전자공학과
(공학사)
1985년 한양대학교 전자공학과
(공학석사)

1994년 한양대학교 전자공학과(공학박사)
1989년~현재 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야: Bio-Technology, 임베디드 시스템, SoC
설계