2002년도 대한전자공학회/대한전기학회 시스템 및 제어분야 합동 추계학술대회 논문집(2002.11.30)

컴팩트 플래쉬 방식의 휴대형 산소포화도 측정 및 ECG 감시 시스템의 구현

김동학, *김영길
아주 대학교 의용 공학과
전화 : 031-210-2378 / 핸드폰 : 011-9031-9187

Implementation of a ECG monitoring system and portable pulse oximeter for SpO_2 using Compact Flash Interface

Dong-Hak Kim, Young-gil Kim
Dept. of Biomedical Engineering, A-Jou University
E-mail : classiccrafty@yahoo.co.kr

Abstract

In this paper, we aims to develop a microcontroller-based ECG monitoring system and portable pulse oximeter using Compact Flash Interface.

First, portable pulse oximeter system is designed to record 2 channel of biosignals simultaneously, including 1 channel of SpO_2 and 1 channel of pulse rate. It is very small and portable. Besides, the system makes it possible to measure a patient's condition without an additional medical equipment.

We tried to solve the problems generated by a patient's motion. That is, we added an analog circuit to a traditional pulse oximeter in order to eliminate the change of the base line. And we used 2D sector algorithm.

As present, SpO2 modules are completed. But there are still many further development needed in order to enhance the function. Especially, compact falsh interface remains the most to complete.

Second, ECG monitoring system uses almost same as present 3-lead ECG system. But we focus on the analog part, especially in filter.

The proposed filter is composed of two parts. One is a filter to remove the power-line interface. The other is a filter to remove the baseline drift. A filter to remove the power-line and the baseline drift is necessarily used in the ECG system. The implemented filter have three features; minimizing the distortion in DC component, removing the harmonic component of power-line frequency.

Using compact flash interface, we can easily transfer a patient's personal information and the measured signal data to a network based server environment. That means, it is possible to implement a patient's monitoring system with low cost.

I. 서론

노령인구의 증가와 현대 디지털 산업의 발전은 의료기기에서도 큰 변화가 일어나고 있다. 바쁘게만 살아가는 현대인들은 건강에 대한 관심은 높으나 관리를 소홀히 하여 조기에 발견하면 쉽게 치료할 수 있는 병도 그 발견시기를 놓쳐 큰 병을 키우는 경우가 많다. 7500명의 과학자 · 엔지니어 등이 연구개발을 수행하고 있는 미국 바텔연구소(www.battelle.org)는 최근 엔지니어와 비즈니스 매니저를 대상으로 10년 후 하이테크

제품의 개발 전망에 대한 조사결과를 발표했다. 이 보고서에 따르면 10년 후 가전 시장은 모든 정보가전 기능이 하나로 통합·관리되고, 개인별 건강상태를 체크하는 바이오 칩 및 환경 친화적 제품을 중심으로 재편될 것으로 전망됐다. 또 10년 후 가정은 강력한 컴퓨터와 복합적인 소프트웨어 프로그램에 접속할 수 있도록 설계된다. TV·케이블·인공위성 등을 통합해 접속하는 작은 셋톱박스가 등장하고, PDA와 랩탑은 전화기처럼 보편화된다.

본 논문은 최근 그리고 멀지 않은 미래에 휴대형 디지털 장비가 될 PDA의 표준 인터페이스인 컴팩트 플래쉬 방식을 이용하여 휴대형 산소포화농도 측정 시스템과 PDA의 오디오 잭을 이용한 3-lead 심전도(ECG) 감시 시스템을 동시에 구현하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 시스템은 별도의 전용 의료장비를 사용하지 않고도 장소·시간의 제약 없이 건강상태를 연속적으로 측정하는 것을 가능하게 한다. 또한 무선 네트워크 및 기존 응용 프로그램과의 연동을 통해 다양한 정보의 저장·분석·전송 등을 가능하게 하며, 모듈을 교체하는 방식으로 그 기능의 변경, 확장할 수 있게 해준다.

II. Portable pulse oximeter for SpO_2

2.1 아날로그 부분의 구성

시스템은 그림 1과 같이 크게 송신부와 수신부 2부분으로 구성된다. 송신부는 일정한 송신 출력을 유지하기 위한 전류 제한 회로와 2가지 파장의 빛을 선택적으로 출력하는 드라이브 회로로 구성된다. 특히 전력 소모와 크기 문제를 고려하여 IC 형태의 FET를 사용하였다. 본 시스템은 빛을 이용하는 시스템이므로 외란광의 영향을 막고, 2가지 파장의 빛을 교대로 송신하기 위해서 일정 변조 주파수에 맞추어 송신할 수 있도록 먹스(MUX) 회로를 구성하였다.

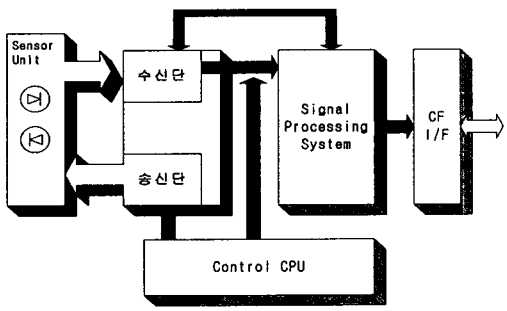

그림 1 . 시스템 블록 다이어그램

2.2 송·수신부

송신 회로의 출력단은 광센서에 연결되어 있다. 이로부터 광을 검출해내는 방법으로는 손가락으로 투과된 광의 강도를 측정하는 방법과 반사된 광의 강도를 측정하는 방법이 있다. 본 연구에서의 전자 방식서를 사용하여 구현하였다. 그 원리가 되는 센서부 측정 단면도를 그림 2에 나타내었다.

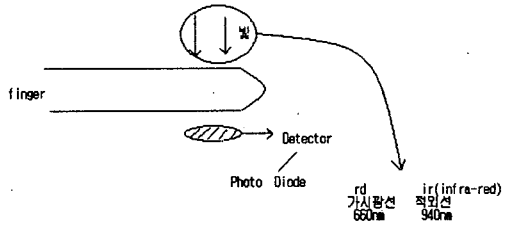

그림 2 투과 방식의 측정 단면도

수신부는 포토 다이오드를 통해 수신된 신호 중 변조 주파수의 신호만을 선택적으로 수신한 후, 이를 증폭, 필터링 하도록 구성하였다. 그 결과를 송신부의 변조 주파수에 맞추어 디먹스(DEMUX) 회로를 통해 적외선 신호성분(Infrared Signal)과 가시광선(Red Signal)으로 분류하도록 하였다. 기저선 변동을 억제하기 위하여 송신부와 동기를 맞추어 송신이 되지 않는 동안에는 바이어스 회로가 동작하도록 하여 알고리즘에 의한 제한된 필터기능을 보강하였다. 그 후 신호는 적분 회로를 통해 프로세서에 입력되어 신호 처리된다

2.3. 시스템 알고리즘

신호처리 시스템은 기존의 디지털신호처리기(DSP)를 사용하지 않고, 요즘 각광받고 있는 32bit RISC 프로세서인 ARM 프로세서를 사용하였다. 플래쉬 롬과 램을 내장한 삼성반도체 모델인 S3F441FX는 고성능을 발휘하면서도 저전력의 특징을 가지고 있다.[4] 또한 DSP 명령어도 포함되어 있어 강력한 처리 능력을 보인다. ARM 프로세서는 수신단의 신호 제어와 필터링, 알고리즘을 처리해 최종적인 맥박수와 산소포화농도를 출력한다. 또한 PDA와 같은 휴대용 제품으로의 데이터 전송을 위해 컴팩트 플래쉬 인터페이스를 사용하였다.

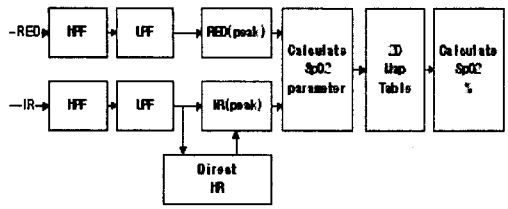

그림 3 알고리즘 순서도

수신부를 거쳐 프로세서에 입력된 2가지 신호성분(Ir, Red)은 각각 FIR, IIR 필터로 구현된 디지털 필터를 거치면 노이즈 성분이 제거된다. 이 중 적외선 신호 성분(Ir)은 그 크기가 크므로, 화면 출력 및 맥박 추출을 위해 사용된다. 한편, 추출된 정보는 재처리된 후 그래픽 액정표시장치(LCD)에 그 파형과 맥박을 표시한다. 이후 노이즈가 제거된 2가지 신호 성분은 맥박에 동기되어 미, 적분 알고리즘과 스펙트럼 분석 과정을 거쳐 여러 파라메터 값을 출력한다.

기존 시스템은 기본 알고리즘의 결과물인 파라메터를 1차원 테이블 혹은 수식을 통해 산소포화농도를 판단하도록 되어 있다. 이는 혈류량의 차이, 운동 등 외부환경에 따른 변화에 따라 오차를 수반한다.

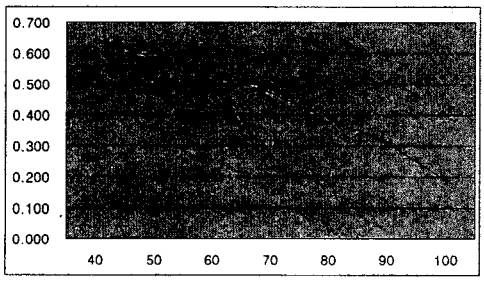

그림 4. 산소포화농도(%) vs 파라메터 값

그림 4은 산소포화농도 시뮬레이터를 통해 추출된 산소포화농도와 파라메터 값의 상관 그래프이다. 파라메터와 포화농도의 관계가 비례관계는 아니지만 일정한 패턴을 유지하고 있으므로, 수식이나 테이블을 통해 최종 포화농도를 계산할 수 있다.

그림 5는 펄스 볼륨에 따른 파라메터 값을 출력한 그래프로, 각각 산소포화농도가 80, 90, 100%인 경우의 값이다. 그림 4과 그림 5의 그래프를 분석해 보았을 때, 파라메터의 값이 동일하다 하더라도 펄스 볼륨에 따라 산소포화농도의 값이 다름을 알 수 있다.

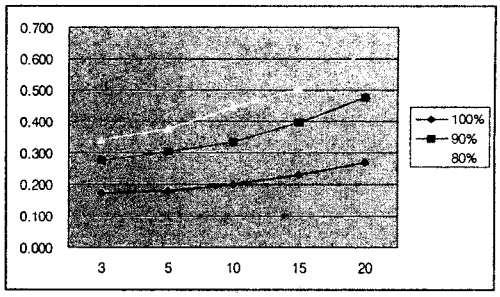

그림 5. 펄스 보름에 따른 파라메터 값

산소포화농도의 측정이 요구되는 경우는 신체에 이상이 있는 환자가 고려될 수 있으며, 때로는 노약자, 여성이 될 수 있다. 이러한 경우 일반 성인에 비해 펄스 볼륨이 현저히 작은 경우에 많으며, 이에 따라 산소포화농도에 많은 오차가 유발될 수 있다.

본 논문의 시스템은 펄스 볼륨과 파라메터 값 에 따른 2차원 테이블을 시뮬레이터를 통해 작성하였다. 수신된 신호를 이용하여 먼저 펄스 볼륨과 파라메터 값을 추출한 후, 기 작성된 2차원 테이블에서 가장 근접한 위치를 검색한다. 오차가 최소화되는 값은 4가지 상태가 있으며, 측정값과 4가지 상태값을 보간법에 의하여 최종 산소포화농도를 추출하도록 하여 오차를 최소화하도록 하였다.

측정 시스템 및 알고리즘의 구현 이후, 보정 및 그 정밀성을 측정하기 위해서 본 논문은 산소포화농도 시뮬레이터를 사용하도록 하였다. 이 시스템은 센서의 종류, 맥박, 산소포화농도, 혈류량 등을 선택할 수 있어 다양한 상태에 따른 결과를 유출할 수 있다.

Ⅲ. ECG monitoring system

3.1 아날로그 부분의 구성

아날로그 부분의 구성은 그림 6과 같다. 심전도를 추출하는 방식에는 흉부유도와 사지유도가 있다. 제안된 시스템에서는 사지유도에 기반을 두었다. 그리고 PDA의 오디오 잭을 이용하기 위해 3-Lead를 이용한다. 그림에서 볼 수 있듯이 초단에서 들어오는 생체신호를 증폭하고 기저선 및 고주파 잡음 제거를 위한 기저선 제거 필터를 거치고 차동 증폭 회로를 거쳐서 DC Offset 조절 후 아날로그-디지털 변환기(ADC)로 가게 되어 있다.

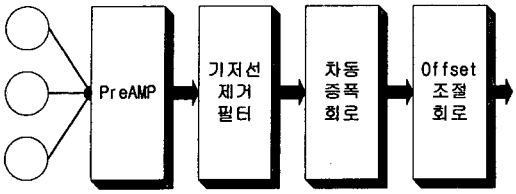

그림 6 아날로그 부 구성도

3.2 심전도 처리 알고리즘

심전도의 특징을 보면 주파수 대역은 0.05~100Hz 정도가 된다. 또한 심전도 신호에 부가된 잡음의 종류를 보면 50/60Hz의 전력선 잡음, 사람의 호흡에 의해 발생되는 1Hz 미만의 저주파 잡음, 기저선 변동 및 근육에서 발생하는 근잡음 등이 있다. 구현된 시스템은 이런 모든 잡음을 디지털 필터로 처리하지 않고 안정된 아날로그 회로와 아날로그 필터로 먼저 신호를 처리한 뒤 디지털 필터로는 가장 큰 잡음인 전력선 잡음을 제거하였다. 필터의 구성은 CPU에 부하를 최대로 줄이기 위해서 계수가 1인 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 구성했다. 이렇게 하면 계수가 1이기 때문에 입력신호와 과거신호만으로 된 필터식이 나온다. 이는 이동 평균의 한 형식이 된다.

그림 7은 알고리즘의 순서도이다.

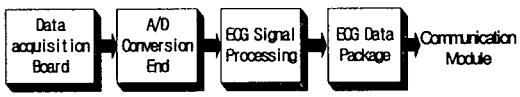

그림 7 알고리즘 순서도

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 병실, 중환자실 등에서 사용되는 기존의 병원용 산소포화농도 시스템을 휴대 가능하도록 소형으로 제작하여 편리성을 도모하였다. 그리고 부가적으로 ECG Monitoring까지 가능하도록 구현하였다. 휴대형이라는 특성 때문에 발생할 수 있는 문제점을 개선하고자 기존의 시스템에 기저선 변동을 제거하기 위한 아날로그 회로를 추가하였으며, 2차원 섹터 검색 알고리즘을 사용하여, 모세혈관 내 혈류량이 적은 노약자, 신생아, 여성 및 기타 중환자의 보다 정확하고 정밀한 산소포화농도를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 PDA에 쉽게 장착하여 사용할 수 있도록 컴팩트 플래쉬 인터페이스 방식을 적용하고자 하였다. 이 방식을 이용한다면, 대량의 생체 신호 저장이 용이하며, PDA의 커다란 그래픽 액정 표시장치로의 디스플레이도 가능하게 하여 시스템 구현에 따른 비용을 절약할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 개인의 건강진단 시스템으로 활용될 가능성을 보여준다.

한편, 최근 PDA의 핸드폰 기능을 활용한다면, 기존의 무선 네트워크를 통한 데이터 전송이 가능하여, 병원의 환자 감시 장치 등으로도 활용될 수 있을 것이다. 또한, 컴팩트 플래쉬의 특성상 착탈이 용이하고, 시스템의 용도 변경이 쉬운데, 이를 잘 활용한다면 병원에만 국한된 시스템을 각 가정으로 확대할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

[1] J.G.Webster, "Design of Pulse Oximeters", Institute of Physics Publishing, 1997.

[2] L.G. Lindberg, "Pulse oximeter signal at various blood flow conditions in an in vitro model", Medical & Biological Engineering & Computing, January 1995, vol.33, 87-91.

[3] 주기춘, "마이크로컨트롤러를 이용한 ECG-NIBP -SpO_2 환자감시장치 개발에 관한 연구", 연세대학교 13-15

[4] 이강민, "LAN을 이용한 심전도 감시 시스템 구현", 아주대학교, 2000.6.

[5] S3F441FX User's Manual, Samsung.