

Matched Filter를 이용한 이동형 심전도 신호의 R-peak 검출

신승원*, 김경섭*, 윤태호*, 이정환*, 이강휘*, 김동준**
 *건국대학교 의료생명대학 의학공학부, **청주대학교 이공대학 전자정보공학부.

Estimating R-peak Detection of Ambulatory ECG Signals by Matched Filter

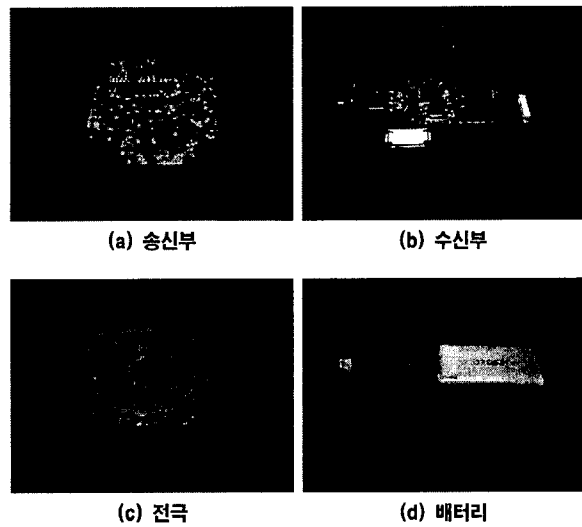
Seung-Won Shin*, Kyeong-Seop Kim*, Tae-Ho Yoon*, Jung-Wan Lee*, Kang-Hwi Lee*, Dong-Jun Kim**
 *School of Biomedical Engineering, Konkuk University, Chungju, Korea
 **Division of Electronic & Information Engineering, Cheongju University, Cheongju, Korea

Abstract - 고령사회에 접어들면서 연속적으로 심전도를 관찰할 필요가 있는 만성 심장 질환 환자의 수가 증가함에 따라, 이동형 심전도 측정 모듈을 활용하여 심전도를 분석하는 진단 시스템의 필요성이 크게 증가하고 있다. 이에 따라서 본 연구에서는 무구속 패치형 심전도 측정 모듈을 이용하여 심전도를 획득하고, 획득한 심전도를 무선으로 전송받아 Matched Filter를 이용하여 잡음을 제거하고 R-peak 검출을 수행하여 심장활동을 모니터링하고자 하였다.

그리고 무선으로 전송된 데이터를 개인용 컴퓨터나 단말기에 연결하기 위해서 USB 프로토콜과 RS232C 프로토콜을 연결하는 USB-UART Bridge를 지원하기 위해서 Silicon Lab사의 CP2102 칩을 사용하여 PC의 USB 단자에 연결하여 원격에서 측정되는 심전도 데이터를 수신할 수 있는 수신모듈을 구현하였다[1][2]. 그림 2는 구현된 무구속 패치형 심전도 측정 모듈과 무선 송수신부를 보여준다.

1. 서 론

심전도의 측정과 분석은 임상에서 심장관련 질환을 진단하기 위하여 사용되는 방법으로서 가장 일반적인 검사 방법이다. 오늘날 고령사회에 접어들면서 심전도는 급성 심근경색이나 협심증과 같은 심장 질환이 급증함에 따라 심장 질환 진단의 수단으로 그 중요성이 더욱 증가하고 있다. 또한 부정맥과 같이 연속적으로 심전도를 관찰할 필요가 있는 심장질환 환자가 증가함에 따라, 사용자가 언제 어디서나 손쉽게 심전도를 측정할 수 있는 이동성을 갖춘 심전도 측정 모듈과 이를 활용하여 심전도를 분석하는 시스템의 필요성이 크게 증가하고 있다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 심전도 측정법으로 임상에서 진단용으로 주로 사용되는 표준 사지유도법과 이동환경에서 주로 사용되는 2전극 측정법이 있다. 이 중 표준 사지유도법은 심장 질환 진단에 사용될 수 있는 정확한 심전도 측정 결과를 보여주지만, 소형화가 어렵고, 전극 사이에 연결되어진 케이블에 의한 영향으로 잡음의 영향이 많이 받는다. 또한 2전극 측정법은 이동환경에서의 기본적인 심장의 활동도를 측정하는데 유리하지만, 이동 중 움직임에 의한 측정 오차를 줄이기 위하여 탄력성이 있는 고무 밴드를 이용함으로써 사용자에게 착용의 거부감을 가중시키는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 이동성을 갖춘 무구속 패치형 심전도 측정 모듈을 구현하였다. 또한 구현된 측정 모듈을 이용하여 심전도 신호를 측정하고, 측정된 신호를 무선으로 전송받아 Matched Filter를 이용하여 잡음제거 및 R-peak 검출을 수행하여 심전도의 특징 값을 도출하고자 하였다.

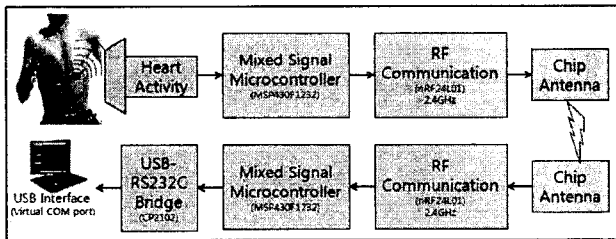


<그림 2> 구현된 무구속 패치형 심전도 측정 모듈.

2. 본 론

2.1 무구속 패치형 심전도 측정 모듈

이동성을 갖춘 소형의 패치 형태의 심전도 측정 모듈의 구현을 위하여 그림 1과 같은 시스템을 구성하였다.



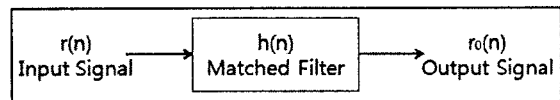
<그림 1> 무구속 패치형 심전도 측정 시스템의 구성.

저전력으로 원활한 신호처리를 위하여 시스템에 사용된 프로세서는 소형, 저전력의 특성을 보이고 있는 Texas Instrument사의 MSP430F1232 칩이다. 이 프로세서는 3.3V의 저전압으로 구동하고, 1MHz에서 300µA의 저전력을 소비하며, 16비트 RISC 코어로 구성되어 있고, 혼합 처리 프로세서로서의 기능으로서 내부에 8채널의 12비트 A/D 변환기를 탑재하고 있어, 생체신호 양자화에 적합한 성능을 가지고 있다. 또한 내부에 8kb의 플래시 메모리와 1kb의 메인 메모리를 가지고 있어 간단한 디지털 필터의 구현도 가능하다.

또한 저전력으로 고속의 무선 데이터 송수신을 위하여 Nordic Semiconductor사의 nRF24L01(2.4GHz 대역)칩을 사용하였고, 측정 모듈의 소형화를 위하여 최근 개발되어 사용되고 있는 세라믹 칩 안테나(Ceramic Chip Antenna)를 사용하여 무선 송수신단을 구성하였다.

2.2 Matched Filter

Matched Filter는 기존 신호의 형태의 특성을 가지고 있으면서, 입력되는 신호의 왜곡에 관계없이 출력 신호의 수준이 최대가 되도록 설계하는 필터이다. 따라서 간섭 잡음의 제거 뿐만 아니라 동일한 시간에서 피크 신호가 최대가 되는 성능을 가진다. 심전도 신호에서의 최대값은 항상 R-peak이기 때문에 Matched Filter는 R-peak를 검출하는 방법으로써 적절하다고 가정할 수 있다. 그림 3은 Matched Filter의 블록 다이어그램을 보여준다[3].



<그림 3> Matched Filter의 블록 다이어그램.

식 (1)은 Matched Filter의 특성을 표현하는 임펄스 응답을 보여준다.

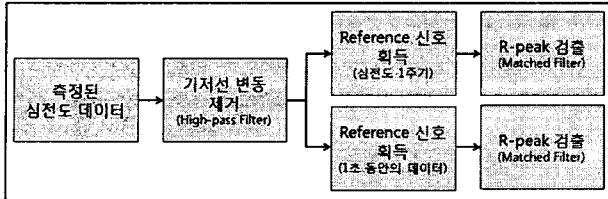
$$h(n) = Cs(N-n) \tag{1}$$

여기에서, C는 임의의 상수, s(N-n)은 원 신호로부터 유도된 신호, N은 피크 신호 출력의 시간을 의미한다.

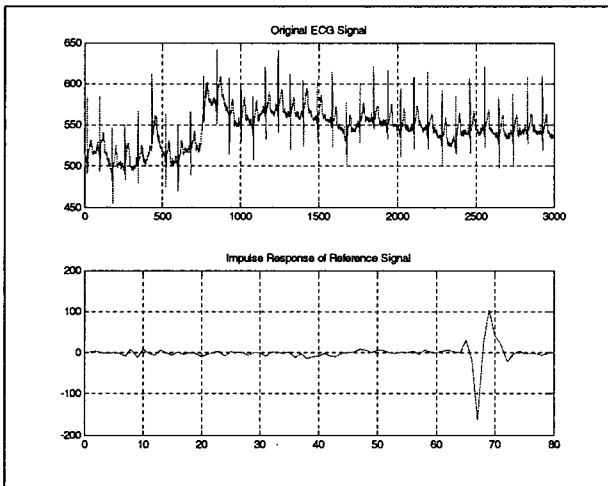
Matched Filter는 동일한 지속시간과 에너지를 가지는 다른 신호에서보다 기준(reference) 신호와 조화되는 신호의 응답에서 몇 개의 특정 시간에 더 큰 출력을 보여준다. 이러한 특성은 심전도와 같이 잘 알려진 파형 형태의 신호 검출에 유용하다. 심전도에서 가장 지배적인 형태는 QRS 파형이기 때문에, 기준 신호로서 QRS 파형을 알고 있으면서 Matched Filter에 심전도 신호가 입력으로 들어간다면, R파에 대응하는 순간에서 최대값에 도달하여 큰 응답이 발생된다. 그래서 출력이 미리 결정된 값을 초과했을 때 R파의 최대값을 산출할 수 있다.

2.3 실험 및 결과

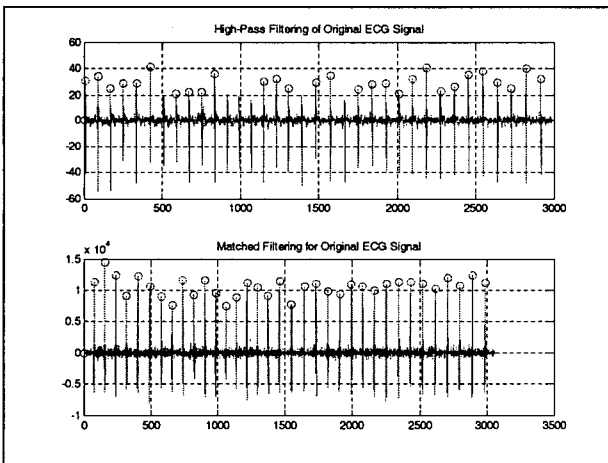
실험에 사용된 데이터는 구현된 패치형 심전도 측정 모듈을 이용하여 건강한 남성 5명(24±4세)에 대하여 30초 동안 100Hz의 샘플링 주파수로 측정된 심전도 데이터를 획득하였다. 1차 high-pass butterworth 필터를 사용하여 획득한 심전도 데이터의 기저선 변동을 제거하고 Matched Filter를 이용하여 R-peak를 검출하는 알고리즘을 구현하였다. 그림 4는 Matched Filter 알고리즘의 구성을 보여주고, 그림 5는 Matched Filter를 수행한 결과의 예를 보여준다.



〈그림 4〉 Matched Filter 알고리즘 구성



(a) Original 신호와 Impulse Response 심전도 신호.



(b) High-Pass Filter와 Matched Filter를 적용한 심전도 신호.

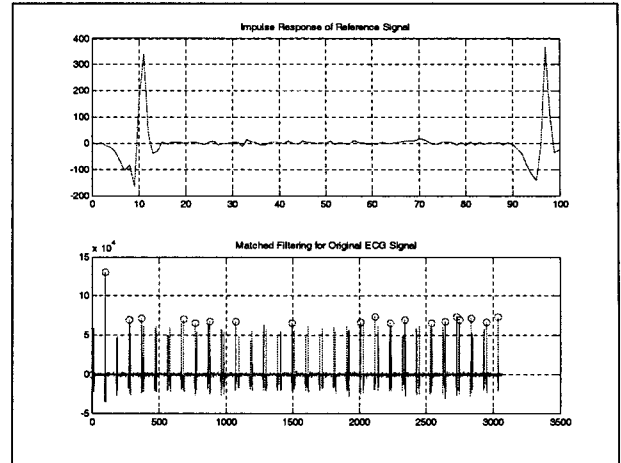
〈그림 5〉 Matched Filter를 적용한 결과의 예.

여기에서 R-peak를 판단하는 경계값은 심전도 신호 데이터의 최대값의 1/2 로 설정하였다.

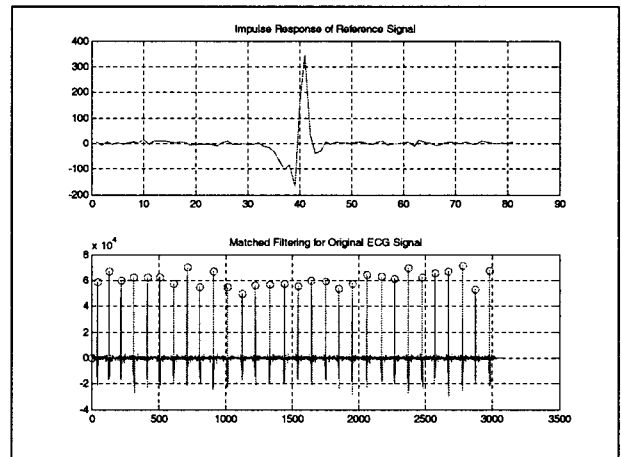
그림 5에서 보는 바와 같이 Matched Filter를 적용한 심전도 신호는 R-peak에서 매우 큰 값을 가지게 되어 R-peak의 검출에 무리가 없으나, Matched Filter를 적용하지 않은 심전도 신호는 R-peak 신호의 크기가 작아 R-peak를 제대로 검출하지 못하는 것을 확인할 수 있다.

임펄스 응답은 Matched Filter의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 이러한 임펄스 응답의 변화에 따른 Matched Filter의 성능을 비교하기 위하여 두 가지 방법으로 임펄스 응답을 도출하였다. 첫 번째로 입력 심전도의 PQRST 임의의 1주기를 기준 신호로 설정하여 임펄스 응답으로 도출하였고, 두 번째로 최초 1초 동안 획득된 데이터를 기준 신호로 설정하여 임펄스 응답을 도출하였다. 이 두 임펄스 응답을 이용하여 Matched Filter의 성

능을 비교하였다. 그림 6은 두 가지 임펄스 응답을 이용하여 Matched Filter를 수행한 결과를 보여준다.



(a) 1초 동안 획득된 데이터를 이용한 Matched Filtering 결과.



(b) PQRST 1주기를 이용한 Matched Filtering 결과.

〈그림 6〉 두 가지 임펄스 응답을 이용한 Matched Filter의 수행 결과.

위에서 보는 바와 같이 피크가 둘 이상 있는 신호를 임펄스 응답으로 사용하게 되면 Matched Filter에서는 대응되는 피크마다 큰 응답을 발생시키기 때문에 입력 심전도 신호의 하나의 R-peak 마다 두 번의 큰 신호를 출력하는 현상이 발생한다. 따라서 Matched Filter에서는 임펄스 응답으로 사용되는 신호를 적절하게 선택하는 것이 매우 중요하다.

3. 결 론

만성 심장 질환 환자의 건강관리를 위해 심전도의 측정과 분석은 그 중요성이 더욱 증가하고 있다. 본 연구에서는 언제 어디서나 쉽게 심전도를 측정할 수 있는 소위 '유비쿼터스 무속 패치형 심전도 측정' 모듈을 구현하고, 이를 통하여 측정된 심전도의 R-peak 특징점을 Matched Filter를 이용하여 검출하고자 하였다. Matched Filter는 잡음에 강하고, 알려진 신호에 조화되는 신호의 응답에서 큰 응답을 발생하기 때문에 심전도 신호의 R-peak 검출에 매우 적합하다. 앞으로 Matched Filter의 임펄스 응답을 최적으로 도출하는 알고리즘의 구현이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업자원부, "지역산업 중점기술 개발사업"의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- [1] 이강휘, 이정환, 김경섭, 김동준, "생체신호 무선 송수신을 위한 소형, 저전력 통신시스템 개발," 정보 및 제어 심포지움, 2005.
- [2] Kang-Hwi Lee, Jeong-Wan Lee, Kyeong-Seop Kim, Dong-Jun Kim, "Wearable Heart Monitoring System using Concentric Circular Ring Electrode," ITC-CSCC 2006, July 2006.
- [3] D.C. Reddy, "Biomedical Signal Processing: Principles and Techniques," McGraw Hill, 2005.