

김 형 훈 * 연세대학교 공과대학 전기공학과
 안 재 봉 연세대학교 공과대학 전기공학과
 윤 형 로 연세대학교 원주 의과대학 의용공학과
 이 영 호 연세대학교 공과대학 전기공학과

Abstract

We have a real-time algorithm which improves some drawbacks in the existed method for detection of the QRS complex waves. This proposed algorithm is programmed with 6502 assembly language based-on Apple II microcomputer.

1. 서 론

마이크로컴퓨터를 이용하여 환자의 ECG를 해석하는데 있어 가장 중요한 판단기준은 QRS 파형과 그것의 지속시간이다.

그러나 아날로그 회로만으로는 60 Hz를 비롯한 외부로 부터의 잡음이나 기저선 변동으로 인하여 QRS 신호로부터 QRS 파형의 정확한 검출이 매우 어렵다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 ECG 신호가 정상 및 비정상일 경우에도 QRS 파형의 정확한 검출과 그 지속시간까지 검출할 수 있는 디지털 필터를 설계하고 이 디지털 필터를 이용하여 용량이 매우 작은 마이크로컴퓨터에 의해서도 실시간 검출이 가능한 어셈블리 언어를 사용한 실시간 QRS 검출 알고리즘을 제안해 보고자 한다.

2. 실시간 QRS 검출 알고리즘의 구성

2-1 변환점 데이터 감소 알고리즘

마이크로 컴퓨터를 이용하여 실시간 연산을 하기 위해서는 연속적으로 데이터를 받아들이야 하는데 컴퓨터의 기억용량을 제한할 경우 많은량의

데이터를 저장하거나 전송할 수가 없다. 그러므로 임상정보의 내용을 변질시키지 않는 범위내에서 입력되는 데이터량을 감소시켜야 한다.

본 연구에서는 ECG 파형의 패턴을 보존하는 데 반드시 필요한 데이터 점은 저장하고 그렇지 않은 데이터 점은 없애서 50%의 데이터를 감소시킬 수 있는 신호변환점 데이터 감소 알고리즘을 사용하였다. 그 처리과정은 다음과 같다.

(1) 첫번째 샘플링점 X_0 를 기준점으로 정하고 저장시킨다.

(2) 그 다음 두 개의 연속적인 샘플을 X_1, X_2 라 하면 이점들 중에서 신호의 모양이 변하는 변환점을 그 다음 반복 수행을 위한 새로운 기준점 X_0 로 기억시키고 다른 두 점은 소멸시킨다. 이와 같은 방법으로 다음에 연속되는 두 점에 대해서도 계속 반복 수행한다. 이것을 식으로 표현하면

$$\text{만일 } (X_2 - X_1)(X_1 - X_0) < 0 \quad \text{이면,}$$

$$X_0 = X_1 \quad \text{이고}$$

$$(X_2 - X_1)(X_1 - X_0) \geq 0 \quad \text{이면,}$$

$$X_0 = X_2 \quad \text{가 된다.}$$

표 1 과 2 는 3점 사이에서 가능한 9가지 경우를 나타내며, 그림 1은 ECG 신호에 신호 변환점 감소법을 적용시켜본 예이다.

2-2 적응 필터

60 Hz 잡음을 제거하는데 아날로그 회로로 notch 필터를 사용하고 있으나 이것은 ECG 신호 자체의 60 Hz 성분까지 제거시킴으로 신호 왜곡의 원인이 되기도 한다.

표 1 변환점 알고리즘

pattern	X_0, X_1, X_2
1	$\cdot \cdot \odot$
2	$\cdot \cdot \odot$
3	$\cdot \cdot \odot$
4	$\cdot \cdot \odot$
5	$\cdot \cdot \odot$
6	$\cdot \cdot \odot$
7	$\cdot \cdot \odot$
8	$\cdot \cdot \odot$
9	$\cdot \cdot \odot$

본 연구에서는 ECG 신호의 60 Hz 성분은 제거시키지 않고 60 Hz 잡음만 제거시킬 수 있는 적응필터(adaptive filter)를 사용하였다.

2 - 3 dc 옴셋 및

기저선 변동 제거

ECG 신호로부터 dc 옴셋과 기저선 변동(baseline drift)을 제거하기 위해 저

주파 통과 필터링 방법을 결합한 디지털 기법을 이용하였다.

실제로 고주파 통과 필터는 본래의 신호 전주파 통과 필터(all pass filter)로부터 저주파 통과 필터의 전달함수를 빼냄으로서 수행된다.

표 2 미분부호와 적

pattern	sign of $X_1 - X_0$	sign of $X_2 - X_1$	sign of $(X_2 - X_1) / (X_1 - X_0)$	point choice
1	+	+	+	X_2
2	+	-	-	X_1
3	+	0	0	X_2
4	-	+	-	X_1
5	-	-	+	X_2
6	-	0	0	X_2
7	0	+	0	X_2
8	0	-	0	X_2
9	0	0	0	X_2

2 - 4 근전도 잡음 및 기타 고주파 잡음제거

인체에서 검출되는 ECG 신호에는 5 - 1200Hz 의 EMG 신호와 기타 고주파 잡음이 포함된다. ECG 신호는 0.01 - 250 Hz 범위에 있으므로 저주파 통과필터로 EMG 잡음과 고주파 잡음을 제거한다. 본 연구에서는 z 평면상 단위원에서 $z=1$ 의 영점을 없애고 극점으로 대체시켜서 주엽에 대한 부엽을 최소로 줄이는 방법을 사용하였으며 그 저주파 통과필터의 전달함수와 차분방정식은

$$H(z) = (1 - z^{-m}) / (1 - z^{-1})$$

$$y(nT) = y(nT-T) + x(nT) - x(nT-mT) \quad \text{이다.}$$

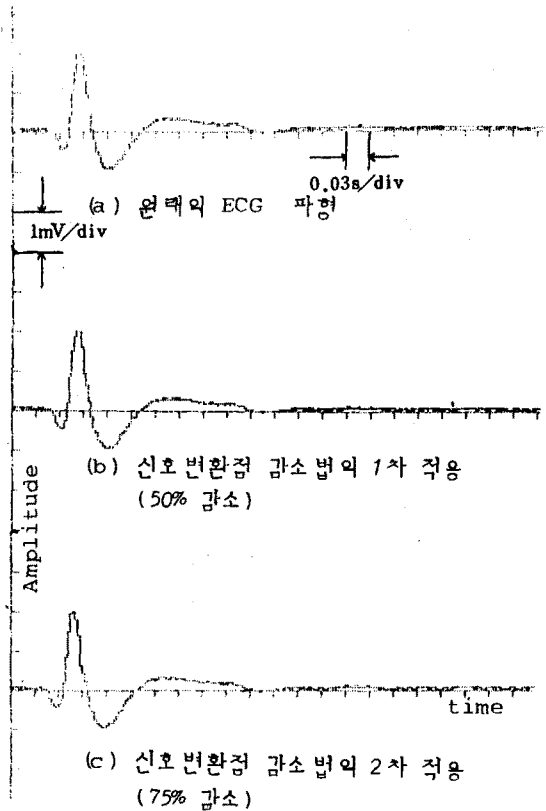


그림 1 신호변환점 감소법의 적용

2 - 5 Hanning 필터

ECG 신호에 미치는 간섭이나 잡음을 억제하기 위해 파형을 디지털적으로 평활하게 할 필요가 있다. 이것을 위해 "weighted moving average filter"라고 불리는 Hanning 필터를 사용하였으며 그 전달함수와 차분방정식은 $H(z) = \frac{1}{4}(1 - 2z^{-1} + z^{-2})$ 과 같다. $y(nT) = \frac{1}{4}(x(nT) + 2x(nT-2T))$ 과 같다. 그림 2는 Hanning 필터를 적용시킨 후 파형이 평활하게 된 것을 보인다.

2 - 6 QRS 파형 및 지속시간 검출 알고리즘

QRS 파형과 지속시간의 검출은 ECG 파형의 1차 2차 미분의 합으로 이루어진다. 1차 미분으로 전달함수가

$$H(z) = \frac{1}{T}(1 - z^{-1})$$

인 두점차분 알고리즘(two-point difference

algorithm)을 사용하였고 2차 미분으로는 전달함수가

$$H(z) = 1/2T(1-z^{-2})$$

인 3점 중간차분 알고리즘(three point central difference algorithm)을 사용하였다.

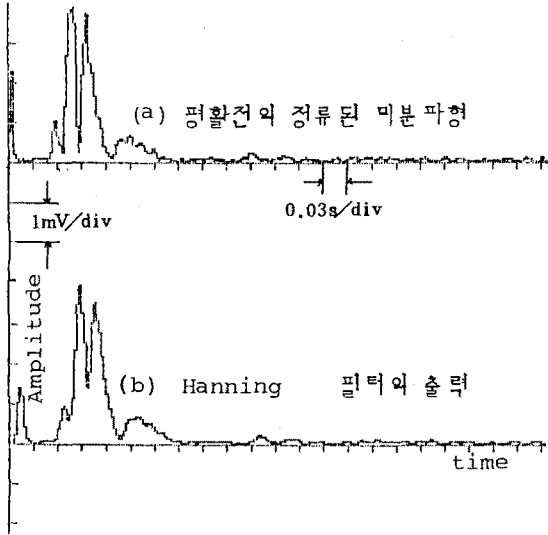


그림2 Hanning 필터의 적용

3. 실험

3-1 실험장치의 구성

그림 3은 본 연구에서 제안한 QRS 검출 알고리즘을 적용하기 위한 블록선도이며 standard Lead 법을 사용하여 ECG를 측정하여 ECG 신호의 정상파형은 피검자 2명으로 부터 추출하였으며 비정상파는 ECG 시뮬레이터를 이용하였다.

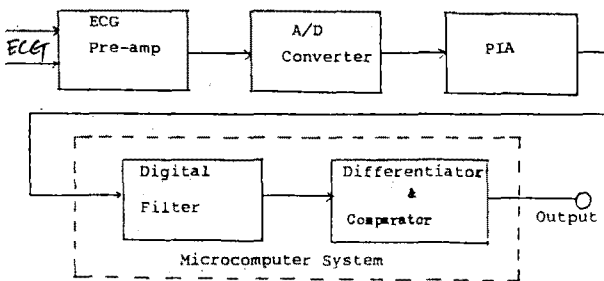


그림3 QRS 검출시스템의 블록선도

3-2 ECG 시뮬레이터

Kontron Medical Inc. 의 부정맥 시뮬레이터 994로 부터 심실조기 수축신호, 근잡음신호

및 60Hz 잡음 신호 등을 입력기준파형으로 사용하였다.

3-3 ECG 전치 증폭기

아날로그 ECG 전치증폭기는 차동증폭기만을 사용하였고 그 이외는 디지털 알고리즘을 이용하였다.

3-4 A/D 변환기 및 사용된 마이크로 컴퓨터

피검자 및 시뮬레이터로 부터 얻은 ECG 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위해 Mountain computer Inc. 제품인 16채널 8bit A/D 변환기를 사용하였다. 그리고 CPU가 6502인 APPLE II 마이크로컴퓨터를 사용하였다.

4. 결론

본 알고리즘을 적용하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) ECG에 60 Hz 잡음이 섞인 경우에 제안된 알고리즘을 통해 잡음이 제거된 후에 QRS 파형을 정확히 검출되었다.

(2) ECG에 EMG 잡음 및 고주파 잡음이 섞인 경우에도 잡음이 제거된 후 QRS 파형이 정확히 검출되었다.

(3) 기저선이 변동된 경우에 제안된 알고리즘을 통해 기저선이 원위치로 환원되었으며 QRS 파형이 정확히 검출되었다.

(4) QRS 파형이 길어진 경우에는 QRS 파형뿐만 아니라 검출된 구형파가 정상적인 QRS 파의 펄스 구형파에 비하여 QRS가 길어진 만큼 넓어짐으로써 지속시간까지 정확히 검출할 수 있었다.

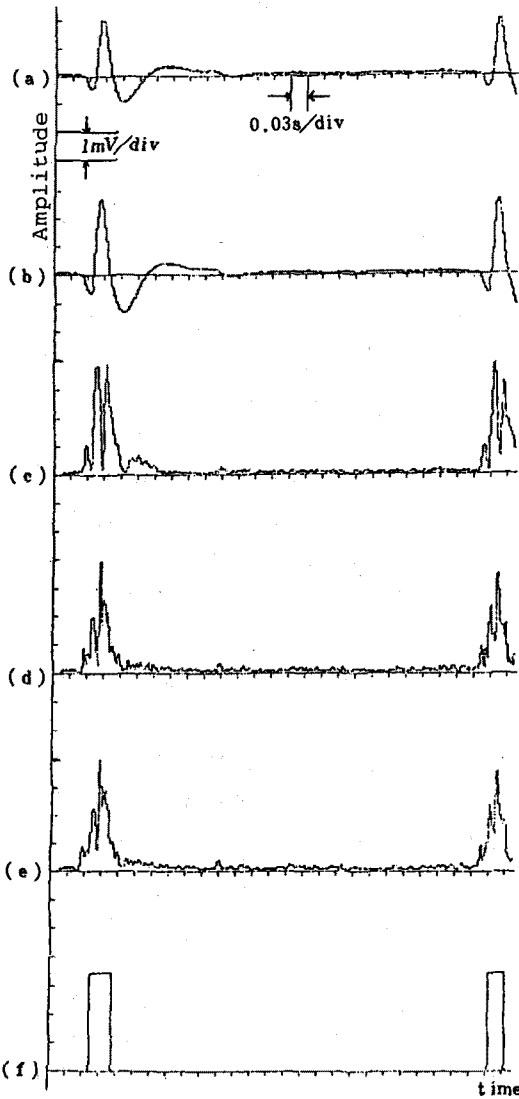


그림 4 정상심전도에 본 알고리즘을 적용한 결과 (떡검자)

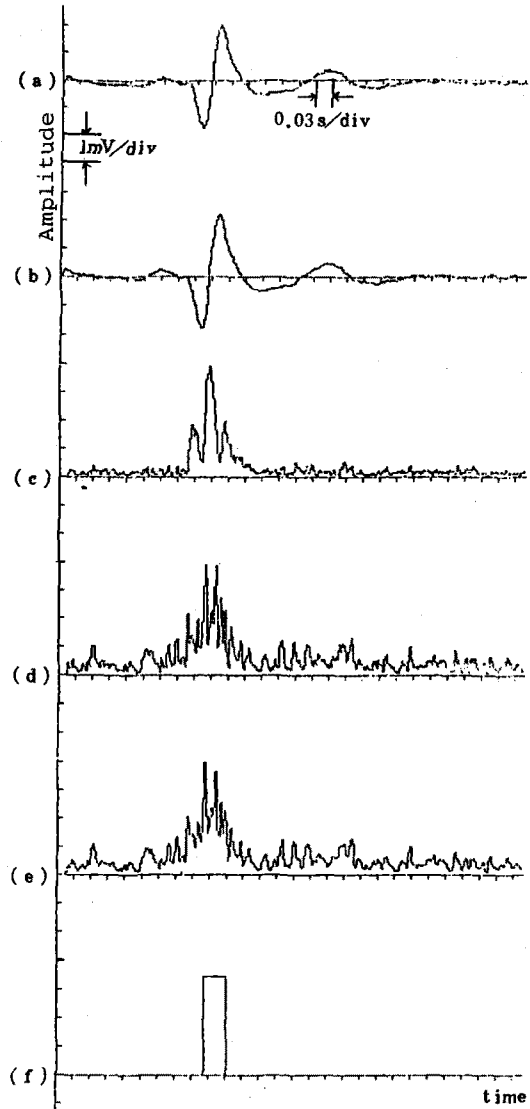


그림 5 정상심전도에 본 알고리즘을 적용한 결과 (시물레이터)

REFERENCE

1. Schamroth, "An Introduction to electrocardiography", Blackwell Scientific Pub., pp.213-223, 1976.
2. 신건수, 이명호 "A Digital Filter for QRS Complex Detection Based-on Microprocessor", Journal of Korea Society of Med & Biolo Eng, Vol 5, No 2, pp. 173-189, 1984.
3. A.S. Berson & H.V. Pipberger, "Sam-

- pling Rate and Precision for Electrocardiographic Data Processing", Journal of Clinical Eng, Vol 2, No 4, pp 308-311, 1977.
4. J.G. Webster & W.J. Tompkins, "Design of Microcomputer Based Medical Instrumentation", Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, pp.433-448, 1980.