

시각화 프로그래밍에 의한 Holter 분석 시스템 개발

이세진, 송근국, 이경중
연세대학교 보건과학대학 의용 전자공학과

Development of Holter analysis system by visual programming

S.J.Lee, G.K.Song, K.J.Lee
Dept. of Biomedical Eng. College of Health Science, Yonsei Univ.

Abstract

In this paper, we designed a Holter analysis system using the visual programming method. It differs from the existing analysis system in that the various signal processing algorithms represented by icons were designed by GUI concept which provide unskilled user with easy and convenient analysis environment. In order to analysis ECG signal, we only select the icon representing a algorithm to be applied by mouse and arrange the selected icons upon the order to be processed on screen. As a result it provides a convenient usage and flexibility of analysis. Finally, we can find the optimal algorithm for the ambulatory ECG analysis by comparing the several results obtained from the various analysis configuration.

1. 서론

본 연구는 시각화 프로그래밍 기법을 이용한 Holter 분석 시스템 개발에 관한 연구이다. 대부분 기존의 ECG 분석시스템은 설계시 분석방법이 한 방법으로 고정되어 있기 때문에 사용자가 필요에 따라 새로운 분석기법을 적용하려고 할 때 전체 프로그램을 다시 변형시켜야 하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 Graphical /iconic 프로그래밍 기법을 이용하여 사용자가 원하는 대로 분석방법을 다양하게 선택할 수 있게 함으로써 데이터의 분석 능력을 극대화한다. 또한 최근에는 컴퓨터 사용이 미숙한 사용자들도 쉽게 분석 시스템을 사용할 수 있도록 하기 위해 GUI (Graphic User Interface)를 도입하여 아이콘(Icon), 버튼(button), 대화상자(dialog Box)등을 이용하여 시스템을 구성하는 경향에 따라⁽¹⁾ 시각화 프로그래밍(Visual Programming)에 의해 분석된 데이터를 GUI 개념을 도입하여 디스플레이 및 통계처리를 할 수 있도록 한다.

이와 같은 소프트웨어 개발을 위한 프로그래밍 환경은 윈도우를 기반으로 하는 개발 환경, 그래픽 개발 환경, 그리고 객체지향 환경으로 분류된다. 윈도우 개발 환경은 프로그래머에게 여러 가지 시각 모듈들을 제공함으로써 시각 프로그래밍과 시각 환경을 모두

제공한다. 그래픽 개발 환경은 아이콘, 다이어그램과 같은 시각적 요소들을 이용한 GUI에 중점을 둔 시스템들이다. 그리고 객체 지향적 개발 환경은 클래스 라이브러리(Class Library)를 이용하여 소프트웨어의 재사용과 고수준의 사용자 인터페이스(User Interface) 제공을 목적으로 한다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 연구에서는 시각화 프로그래밍에 의한 아이콘화된 ECG 신호 분석 알고리즘을 사용함으로써 사용자에게 각 알고리즘들에 쓰이는 파라미터들(차단 주파수(cutoff frequency), 영점의 갯수, 가중치(weight),...)를 입력하고, 입력한 파라미터에 따른 ECG 신호 분석 결과를 비교할 수 있도록 함으로써 분석 알고리즘들에 대한 이해도 증진과, ECG 분석 시스템의 분석 능력을 극대화하며, 분석된 결과에 GUI개념을 도입함으로써 컴퓨터 사용이 미숙한 사용자에게 편리한 분석 환경을 제공할 수 있도록 하기 위해서 시각화 프로그래밍에 의한 Holter 분석 시스템을 개발한다.

본 연구의 내용은 1) 환자 데이터 입·출력 처리부 2) 시각화 프로그래밍에 의한 데이터의 분석 및 파라미터 추출부, 3) 분석된 데이터의 통계처리 및 디스플레이 부 4) 보고서 작성부로 분류된다.

2. 시각화 프로그래밍 방법에 의한 Holter 분석 시스템의 구성

2.1 환자 데이터 입·출력 처리부

환자의 신상기록을 입력하는 부분, 환자의 ECG파형을 연결해 주는 부분, 환자의 일일 기록을 입력하는 부분으로 구성된다. 또한 환자의 리스트를 이름, ID, 성별로 정렬하는 기능을 가지고 있으며, 기본적 데이터 베이스의 기능인 환자의 추가, 삭제, 수정 등을 할 수 있도록 하였다.

2.2 Holter 분석 시스템의 알고리즘 구성

Holter 분석 시스템 알고리즘은 잡음제거를 위한 필터 부분과 QRS 콤플렉스 및 특징점 검출 부분으로 구성되어 있다.

1) 잡음제거용 필터로는 FIR 필터⁽³⁾, IIR 필터⁽³⁾, 적응 필터⁽⁷⁾, Cubic Spline 보간(Interpolation)⁽⁸⁾을 이용한 필터

터 등으로 구성되어 있다.

FIR 필터로는 Hanning 필터, Least - squares polynomial smoothing, Notch 필터 (60Hz)를 사용하였고, IIR 필터로는 Two pole Low-pass, High-pass, Bandpass, Band-reject 필터, Integer Low pass 필터, Integer High pass 필터를 사용하였다.

적용 필터로는 60Hz 잡음 제거 필터 및 기저선 제거 필터를 사용하였으며, Cubic Spline 보간을 이용한 필터로는 Smoothing 필터, 기저선 제거 필터를 사용하였다.

2) 검출 부분의 알고리즘은 미분 및 절대값을 취하는 부분, QRS 콤플렉스 검출 알고리즘, R 점 검출, QRS onaset 검출, T peak, T end 검출, 템플릿 (Template) 분류 알고리즘등으로 구성되어 있다.

미분 알고리즘으로는 2~10점 미분, Least-squares polynomial derivative approximation⁽³⁾, Second derivative⁽³⁾을 사용하였다.

QRS 콤플렉스 검출 알고리즘에는 AT(adaptive threshold)⁽⁴⁾, AF(amplitude & first derivative)의 세가지 형태, FD(first derivative)의 두가지 형태, FS(first & second derivative)의 두가지 형태, DF (digital QRS pass filter)의 두가지 형태⁽⁵⁾, TM (Template matching), TS (Template Subtraction)⁽³⁾ 및 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘을 사용하였다. 이들 QRS검출 알고리즘들중 AT 형태와 웨이블릿을 이용한 알고리즘을 제외한 나머지 알고리즘들은 하나 또는 그 이상의 문턱치를 갖으며, 이 문턱치는 튜닝(tunning) 절차를 거쳐 가장 좋은 결과를 가져올 수 있도록 결정한다.

반면 웨이블릿 변환에 의한 QRS 콤플렉스 검출에 사용한 방법은 길이 N의 전체 데이터 벡터에 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 두 번 취하여 얻어진 결과(N/4길이)를 가지고 3 점 미분을 취하여 얻어진 데이터에서 최대값을 구하여 튜닝 절차를 거쳐 문턱치를 선정한다. 이 문턱치를 넘는 점이 QRS 콤플렉스 후보가 된다. 이 시스템에서는 5종류의 계수 1)Daubiche 2) Coiflet 3)Haar-Walsh 4)Belykin 5)Symlet을 사용하였다.⁽⁹⁾

특징점 검출 알고리즘으로는 R점과 Q점의 검출 알고리즘, QRS onaset 검출 알고리즘, T peak와 T end점 검출⁽⁴⁾알고리즘을 사용하였다.

템플릿 분류 알고리즘은 QRS 콤플렉스를 검출한 후 입력된 ECG 파형의 형태(morphology)에 따라 유형별로 파형을 분류하고 유형별 템플릿들의 갯수와 원래파형에서 분류된 템플릿들의 위치를 저장하는 알고리즘이다. 템플릿을 분류하는 이유는 ST 레벨과 ST 경사가 비 정상 파형인 경우에는 의미가 없고 정상 파형의 경우에만 의미가 있기 때문에 정상파형과 비정상 파형을 구분하기 위함이다. 따라서 분류된 템플릿의 원래 파형에서의 위치를 디스플레이 할 때 ST 레벨과 ST 기울기를 함께 디스플레이 한다.

2.3 Holter 분석 시스템의 운용 체계

본 연구에서는 사용자가 그래픽 환경에서 시스템을 쉽게 운용할 수 있게 하기 위해서 윈도우즈 환경하에서 Microsoft Foundation Class Library를 이용한 Visual C++ 1.51 소프트웨어를 통하여 개발하였으며,

모든 알고리즘들이 아이콘화되어 있으므로 사용자가 원하는 잡음제거 및 검출 알고리즘을 마우스로 선택하여 구성된 루틴으로 신호처리를 하게 된다.

2.3.1 Holter 분석 시스템의 구성 요소

모든 신호 처리 알고리즘들은 필터링 툴 바(filtering tool bar)와 검출 플로팅 툴 바(detection floating tool bar)에 비트맵 버튼으로 구성되어 있어 사용자가 원하는 알고리즘을 쉽게 사용할 수 있도록 작성되어 있다. 또한 비트맵 버튼을 클릭하면 해당하는 알고리즘에 대한 간단한 설명이 콤보 박스(combo box)와 상태 바(status bar)에 나타나게 된다.

그림 1에서는 실제 신호 필터링 및 검출 루틴을 구성한 예를 보여주고 있다. 그림 1에서 1),2)에 해당하는 루틴은 AT 알고리즘을 구성한 것을 보여주고 있고, 3)은 AF 형태의 알고리즘 중에서 첫 번째 형태인 AF1을 사용하여 QRS 콤플렉스를 검출하는 검출 루틴을 보여주고, 4)는 TM 방법에 의한 QRS 콤플렉스 검출을 보여주고 있으며, 5)는 웨이블릿 변환을 이용한 QRS 콤플렉스 검출 루틴을 보여준다.

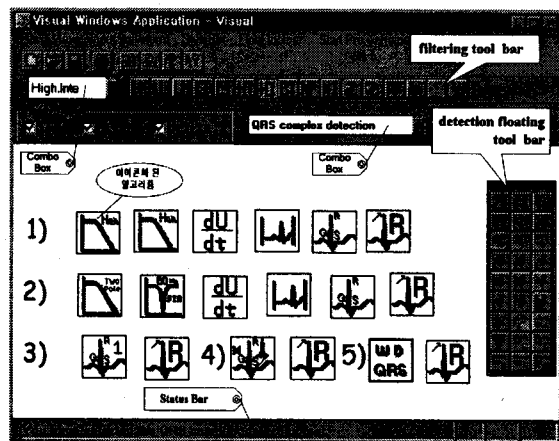


그림 1. 신호처리 시스템의 구성 예

2.3.2 분석 시스템의 동작 방법

시스템의 동작방법은 다음과 같이 다섯 가지 단계로 나눌 수 있다.

1) 사용자가 분석하고자 하는 파형을 파일 선택 대화상자를 통하여 선택한 다음 선택된 입력파형을 관찰할 수 있도록 작성된 비트맵 버튼을 눌러 잡음이 파형에 섞여 있는지 확인하여 적절한 필터를 필터링 툴 바에서 마우스로 선택한다.

2) 마우스로 필터를 선택시 선택된 필터의 특성에 맞는 파라미터들을 입력한다.

3) 파라미터의 입력이 끝나게 되면 마우스의 화살표 모양의 커서가 사각형 모양으로 바뀌게 된다. 이때 그림 1에서 아이콘화된 알고리즘들이 놓여 있는 처리 영역(processing domain)의 적절한 곳에 마우스의 커서를 위치시키고 마우스의 왼쪽 버튼을 누르게 되면 선택된 알고리즘이나 필터가 아이콘화 되어 나타나게 된다. 이러한 방법으로 그림 1에서 보여주듯이 아이콘화된 알고리즘을 연속하여 놓게 된다.

마찬가지 방법으로 검출 알고리즘도 처리 영역에 연속하여 놓는다. 이때 알고리즘을 잘못 선택하였을 경우

시각화 프로그래밍에 의한 Holter분석 시스템 개발

잘못된 아이콘에 마우스 커서를 놓고 마우스의 오른쪽 버튼을 누르게 되면 선택된 알고리즘을 제거할 수 있다.

4) 메뉴에서 Start Pro.의 항목을 마우스로 선택하여 신호의 필터링과 검출이 시작되도록 한다. 그림 2는 선택한 알고리즘으로 구성된 루틴들 마다의 특성에 따라 서로 다른 처리과정을 보여준다.

5) 신호의 분석이 다 끝난 다음 결과를 보고 싶을 경우 각 알고리즘의 아이콘에 마우스의 커서를 위치시키고 왼쪽 버튼을 누르게 되면 선택된 알고리즘에서의 처리 결과를 보여주게 된다.

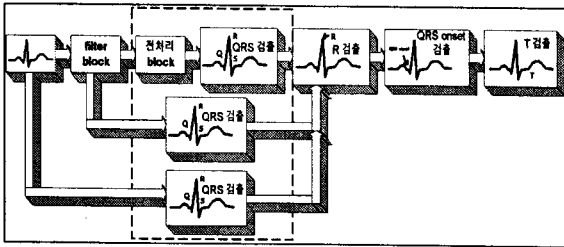


그림 2. 아이콘화된 알고리즘들로 구성된 루틴의 처리 과정 블록도

2.3.3 아이콘화된 알고리즘들간의 상호 연관성

아이콘화된 알고리즘들은 서로 연속적으로 연결되어 있으므로 아이콘이 놓여진 위치에 따라 먼저 놓인 아이콘에서의 처리결과가 다음 아이콘의 입력으로 연결되는 종속접속(cascade) 개념으로 구성되어 있다. 따라서 필터를 종속접속의 형태로 구성하려 할 때 같은 필터를 선택하여 연속적으로 놓게 되면 간단하게 원하는 특성의 필터를 구성할 수 있게 된다. 뿐만 아니라 QRS 콤플렉스를 검출하는 알고리즘을 적용할 경우 그림 2의 점선 박스의 내용과 같이 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘의 입력으로 i)어떠한 알고리즘도 적용하지 않은 원파형 ii)잡음제거용 필터를 통과한 파형 iii)잡음제거용 필터와 전처리 과정을 거친 파형을 사용할 수 있다. 또한 서로 다른 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘들에 대하여 그림 2의 b)에서 보여주는 것과 같이 같은 R점 검출 알고리즘과 QRS onset, Tpeak, Tend 검출 알고리즘을 사용할 수 있다.

2.4 분석된 데이터의 통계처리 및 디스플레이 부

분석된 데이터의 통계처리를 위해 분석된 항목들을 표와 그래프로 보여주도록 작성한다. 디스플레이부에서는 Ambulatory ECG의 10초간, 1분간, 10분간, 1시간동안의 ECG파형을 볼 수 있도록 제작하여 사용자가 쉽게 사용하도록 하였다. 또한 사용자가 ECG파형이 이상하다고 생각되는 부분을 마우스로 선택하여 ECG 파형을 확대하여 더욱 자세히 볼 수 있는 확대 기능이 있다.

2.5 보고서 작성부

환자의 신상기록 및 통계처리된 표와 그래프, 확대시 저장한 파형, 1시간 동안의 ECG파형등을 프린팅한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 환자 데이터 입·출력 처리부

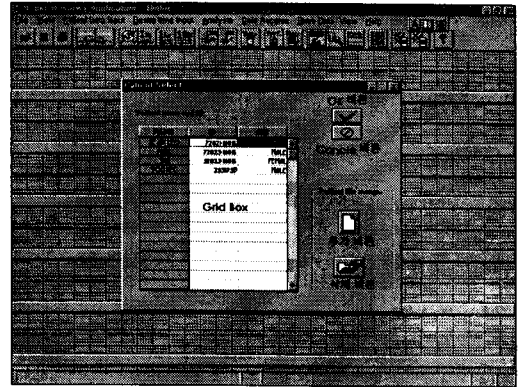


그림 3. 환자 선택 대화상자

그림 3은 환자 선택 하는 대화상자로 환자의 이름과 주민등록 번호가 나타나 있는 그리드 박스(Grid Box)에서 원하는 환자를 선택하게 된다. 이때 필요 없게된 환자를 지울수 있도록 삭제 버튼을 만들었다. 또한 새로운 환자를 추가 할 수 있도록 추가 버튼을 만들었다. 추가 버튼으로 새로운 환자를 추가 하게 될 때는 환자의 신상기록을 입력 하는 대화상자가 나타나게 되고 이곳에서 환자의 신상과 이 환자에 대한 심전도 파형을 연결 시키게 되고 저장되어 있는 환자의 신상을 수정할 수 있다.

3.2 시각화 프로그래밍에 의한 데이터의 분석 및 파라미터 추출부

본 연구에서는 ECG 신호 분석을 위한 기본 데이터 처리 블록을 그림 2와 같은 형태로 구성한 후 사용자가 원하는 데이터 처리 알고리즘을 각 블록에 위치 시킴으로서 다양한 신호분석을 할 수 있도록 하였다. 신호 분석결과의 한 예로서 그림 4에 잡음제거 루틴과 검출 알고리즘 루틴의 처리 결과를 보여주고 있다.

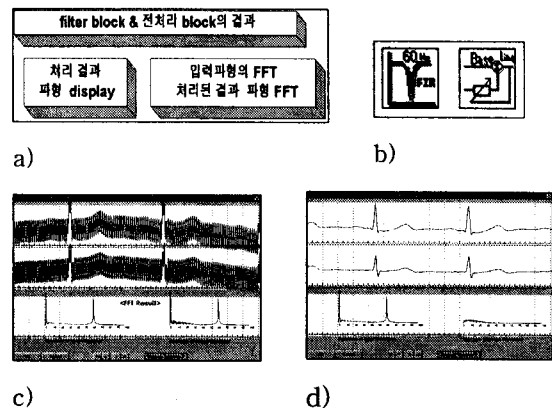


그림 4. a)필터 부분의 블록도 b) 아이콘화된 알고리즘 c)입력 파형 d) 결과 파형

그림 4의 c) 그림은 입력 파형으로 60Hz 잡음과 기저선 변동이 있으나 그림 4의 b)에서 보여주는 것과

같은 아이콘화된 60Hz 잡음제거 필터와 기저선 변동 제거 필터를 통과 한 후에는 d) 그림 처럼 60Hz 잡음 성분과 기저선변동이 제거 된다. 또한 각 결과 파형의 그림에서는 FFT를 사용하여⁽⁹⁾ 입력 파형의 주파수 스펙트럼과 60Hz 잡음 제거 알고리즘의 처리 결과 파형에 대한 주파수 스펙트럼의 차이를 보여준다.

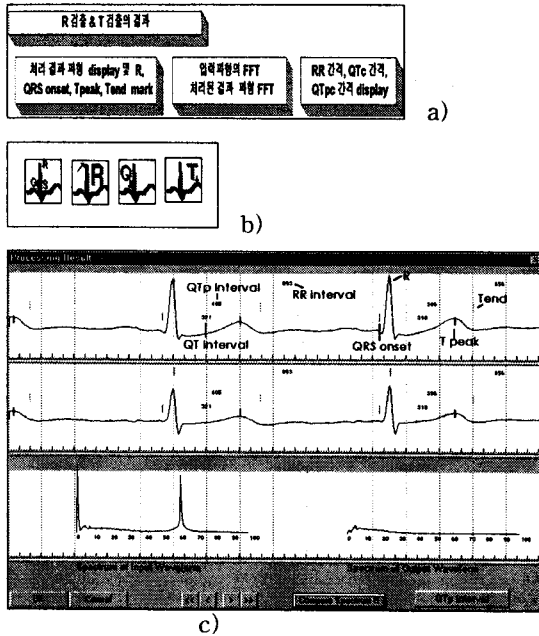


그림 5. a)검출부분의 블록도 b)아이콘화 된 알고리즘 c)검출 결과

그림 5는 잡음을 제거한 후 그림 5의 b)의 아이콘화 된 검출 알고리즘을 사용하여 각 특징점들을 검출한 결과를 보여주고 있다. 이 결과는 AT 방법의해 QRS 컴플렉스를 검출한 후, R 점, QRS onset, Q 점, T peak, T end점을 모두 찾고 RR 간격, QT 간격 등을 보여주고 있다.

그림 1 화면의 5)번은 웨이브렛 변환을 이용한 QRS 검출 알고리즘으로써 웨이브렛 변환 알고리즘을 선택 할 때 웨이브렛 계수를 선정해야 한다.

웨이브렛 계수 선정 방법으로 그림 6의 a)에서 보여주는 웨이브렛 계수 선정 대화상자를 통하여 원하는 계수를 마우스로 더블 클릭(double click)하여 선정한다.

그림 6의 b)는 그림 4의 c)의 파형에서 기저선 변동이 제거된 파형이 입력 되어졌을 경우 웨이브렛 변환 결과를 보여준다.

그림 6의 c)는 입력된 원신호로부터 직접 QRS 컴플렉스를 검출한 결과를 보여준다.

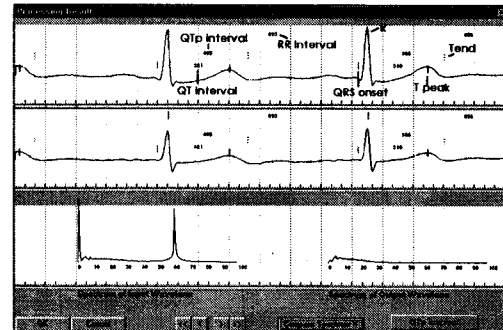
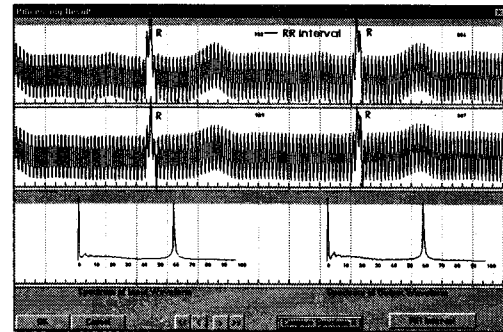
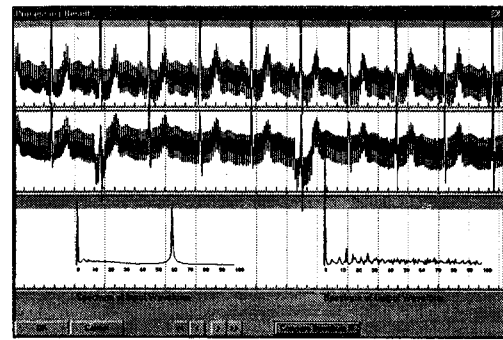
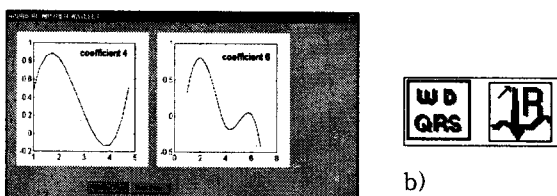
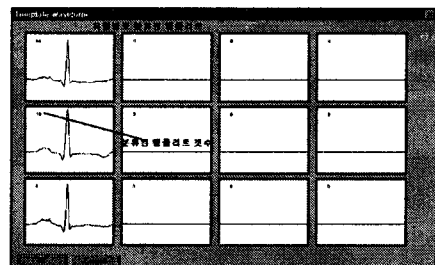


그림 6. a) 웨이브렛 계수 선정 대화상자 및 아이콘화 된 알고리즘 b) 웨이브렛 변환 결과 C) 특징점 검출 결과 d) 잡음제거 후 특징점 검출 결과

이 결과로 웨이브렛 변환을 이용한 QRS 검출 알고리즘은 저역 통과 필터로 작용하여 별도의 잡음제거 과정이 필요 없이 직접적으로 QRS 컴플렉스를 정확히 검출되는 것을 알 수 있다. 또한 웨이브렛을 이용한 QRS 검출 알고리즘의 입력으로 그림 4의 d)와 같은 잡음 제거 알고리즘의 출력을 사용한 경우의 결과는 그림 6의 d)와 같다.

그림 6의 a)는 입력파형의 QRS 컴플렉스 형태를 유형별로 분류한 결과를 나타내며 그림 5의 b)는 분류된 템플릿들의 원래파형에서의 위치와 그 파형의 ST 레벨 및 ST 경사를 나타낸다.



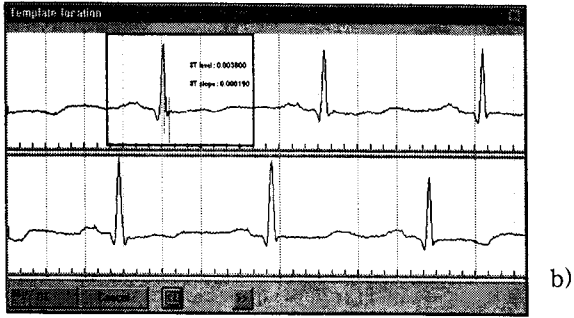


그림 7. a)입력 파형을 템플리트 별로 분류한 결과
b)템플리트의 위치 디스플레이

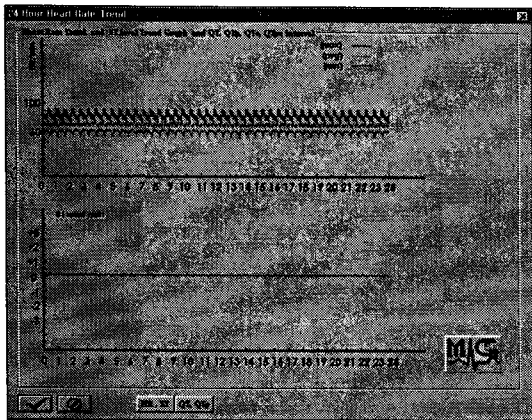
유형별로 템플리트 분류한 결과는 QRS 컴플렉스의 위치를 근거로하여 템플리트를 분류하기 때문에 잘못 검출된 QRS 컴플렉스에 의해 오차가 발생된다. 따라서 QRS 검출 알고리즘의 성능은 템플리트 분류 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

3.3 분석된 데이터의 통계처리 및 디스플레이 부

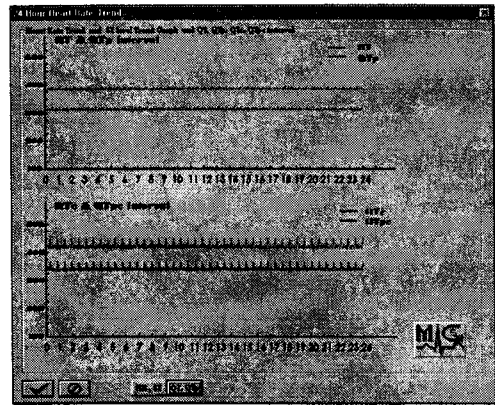
그림 8에서와 같이 시각화 프로그래밍 방법으로 분석된 결과 (R 점의 위치, QRS onset의 위치, Tpeak, Tend의 위치)를 GUI기법을 도입하여 표와 그래프로 나타내어 사용자의 편의를 도모하였다. 그림 8의 a)와 b)는 Heart rate, ST 레벨(level), QT, QTc, QTp, QTpc의 24시간 동안의 경향을 보여준다. 그림 8의 c)에서는 각 시간동안의 Heart rate의 최대, 최소, 평균, ST 레벨, QRS 컴플렉스의 갯수등을 표로 나타내고, 표에서 그래프로 보기 원하는 항목을 마우스로 선택하면 선택된 부분을 3차원 그래프로 나타낸다. 그림 8의 d)는 화면 인쇄 기능으로 프린팅하려는 모든 항목을 미리 보는 기능이다.

3.4 QRS 검출을 비교

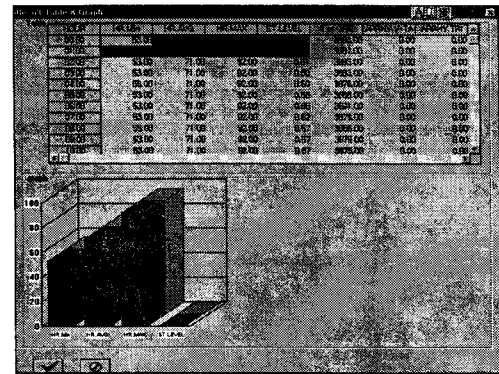
이러한 시각화 프로그래밍 방법으로 작성된 각 QRS 컴플렉스 검출 알고리즘의 성능 평가를 위해 표준 데이터로 샘플링 주파수가 360Hz이고, 각 파형의 크기가 30분정도되는 30개의 MIT/BIH 데이터 베이스 파형을 이용하였다.



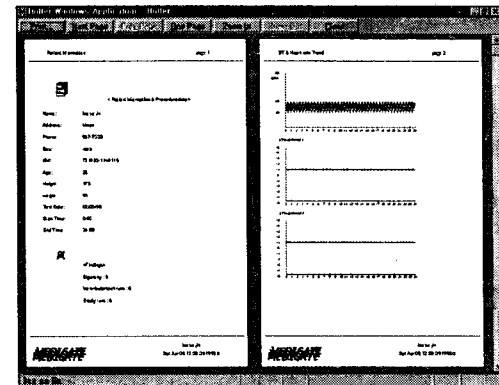
a)



b)



c)



d)

그림 8. a) Heart Rate, ST level의 trend b) QT, QTp, QTc, QTpc 간격 trend c) 통계처리된 표와 그래프 d) 화면 인쇄 기능

QRS 컴플렉스 검출율을 비교하기 위해 AT, AF1, AF2, AF3, FD1, FD2, FS1, FS2, DF1, DF2, 웨이브렛 변환을 사용한 검출 알고리즘을 적용하여 얻은 결과가 표 1,2에 나타나 있다.

표 1,2를 비교하여 보면 웨이브렛 변환을 사용한 알고리즘이 다른 10개의 알고리즘들 보다 검출율이 우수한 것을 알수 있다.

표 1. MIT 데이터 베이스를 이용한 QRS 검출 알고리즘들의 검출률 비교

(단위 : %)

	AT	AF1	AF2	AF3	FD1	FD2	FS1	FS2	DF1	DF2
100	99.9	99.6	99.3	99.95	99.25	99.9	99.95	99.85	99.85	99.3
101	99.52	99.22	99.27	98.82	99.42	98.62	98.02	99.17	99.52	91.02
102	99.6	98.65	98.8	99.3	98.55	98.95	98.15	94.8	99.55	99.5
103	99.6	99.5	99.15	99.65	99.05	99.55	99.35	99.5	99.3	98.95
104	95.45	94.2	94.4	93.1	94.9	94.3	94.75	88.9	94	93.2
107	98.95	98.9	99.7	99.4	99.8	99.8	99.35	97.5	99.5	98.6
109	99.75	99.5	99.4	99.7	99.75	99.85	99.35	99.3	99.8	99.5
111	99.45	99.45	99.05	99.55	99.35	99.45	98.95	99.15	99.45	99.25
112	99.45	99.35	99.3	99.4	99.35	99.4	99.25	98.95	99.35	99.13
113	99.95	99.94	99.94	99.89	99.94	99.94	99.94	99.89	99.94	99.7
114	98.25	98.84	99.05	99.37	99.21	98.99	98.94	97.8	98.2	98.3
115	99.65	99.49	99.64	99.64	99.64	99.64	99.64	99.59	99.55	99.41
117	99.75	99.61	99.61	99.74	99.68	99.61	99.74	99.55	99.74	99.55
118	99.1	98.65	98.65	97.3	98.95	99	98.75	98.45	99	98.65
121	99.2	98.99	98.1	99.15	98.4	98.77	97.71	97.71	99.1	98.9
116	98.4	98.4	98.4	97.4	98.25	98.3	98.5	98.2	98.4	98.1
122	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.85	99.8
123	99.8	99.74	99.8	99.93	99.74	99.87	99.74	99.8	99.8	99.74
124	99.1	97.67	98.84	98.89	99.02	99.02	99.02	99.08	99.2	98.84
202	98.75	99.1	99.1	99.2	99.25	99.25	98.9	98.95	98.8	98.5
205	99.25	98.25	98.95	99.4	99.25	98.85	99.15	98.9	98.4	98.74
212	99.6	99.25	99	99.3	99.2	99.55	99	98.9	99.5	98.45
213	95.95	97.55	96.85	96.85	97.1	97	96.75	96.3	96.85	96.3
214	97.6	97.35	97.9	97.55	98.15	98.1	96.6	93.45	96.7	98.15
215	97.95	96.6	97.05	97.45	97.7	98.05	96.85	96.65	98.05	97.7
217	95.75	96.2	96.1	90.15	95.95	94.9	95.85	95.1	95.7	89.25
220	98.75	98.65	98.95	98.85	98.85	98.85	98.8	98.9	98.55	97.95
223	96	97.35	97.1	97.65	97.65	98.25	97.4	91.45	94.05	98.05
232	97.69	96.97	97.3	97.14	97.14	97.8	97.41	97.35	97.35	97.05
234	99.45	99.4	99.45	99.65	99.65	99.56	99.6	99.4	99.4	99.05

	AT	AF1	AF2	AF3	FD1	FD2	FS1	FS2	DF1	DF2
평균검출율(%)	98.73	98.53	98.57	98.4	98.69	98.7	98.43	97.68	98.5	97.92

표 2. 웨이브렛 변환을 이용한 QRS 컴플렉스 검출 알고리즘의 검출율

(단위 : %)

	D	C	B	H	S
100	99.9	99.9	99.6	99.9	99.95
101	99.38	99.57	99.17	99.54	99.54
102	99.35	99.45	99.25	99.35	99.55
103	99.55	99.2	99.3	99.65	99.3
104	93.85	93.85	93.85	93.85	93.85
107	99.7	99.75	99.45	99.8	99.8
109	99.9	99.8	99.65	99.85	99.85
111	99	98.45	99.05	99.1	98.75
112	99.5	99.55	99.3	99.55	99.5
113	99.78	99.89	99.61	99.89	99.94
114	99.26	99.26	99.05	99.15	99.37
115	99.44	99.64	99.44	99.64	99.64
116	98.35	98.4	98.3	98.35	98.3
117	99.61	99.55	99.35	99.68	99.68
118	99.05	98.95	98.6	99	99.15

	D	C	B	H	S
평균 검출율 (%)	98.84	98.82	98.71	98.92	98.89

(D:Daubiche,C:Coiflet,B:Beylkin,H:Harr,S:Symlet)

이와 같은 시각화 프로그래밍 방법에 의한 ECG 신호 분석은 일련의 일정한 알고리즘만을 가지고 신호를 분석하는 것이 아닌 여러 가지 알고리즘을 가지고 ECG 신호의 잡음 제거와 특징점 검출 등을 복잡한 절차를 거치지 않고 간단하게 할 수 있다

이러한 이유로 QRS 컴플렉스 검출시 가장 적절한 잡음제거 방법과 미분 방법 등의 전처리 과정을 선택하여 QRS 컴플렉스 검출 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있고, 여러 가지 QRS 컴플렉스 알고리즘들을 간단하게 ECG 파형에 적용하여 각 알고리즘들의 특성 및 성능을 비교 평가하여 새로운 알고리즘의 개발에 도움이 될 수 있다.

이와 같은 것을 고려해 볼 때 시각화 프로그래밍에 의한 Ambulatory ECG 분석 시스템은 교육용, 알고리즘의 성능 평가, 필터 성능 개선, 알고리즘 개발 환경 제공을 하는 역할을 할 수 있으며, GUI를 이용한 통계 처리 및 디스플레이 시스템은 Ambulatory ECG의 분석 결과를 보다 쉽고 자세히 살펴볼 수 있으므로 진단에 많은 도움을 줄 것이다.

4. 결 론

- 1) 시각화 프로그래밍에 의한 분석 시스템은 각 알고리즘의 파라미터를 변화 시켜가면서 각 알고리즘의 특성 및 여러 알고리즘의 성능을 비교 할 수 있는 특징을 갖게 된다.
- 2) 그래픽 환경하에서 작성된 알고리즘들을 아이콘화 시킴으로써 필요에 따라 알고리즘들을 조합할 수 있기 때문에 사용자의 편의를 도모할 수 있다.
- 3) 시각화 프로그램에 의해 분석된 결과를 GUI개념을 이용하여 통계처리 및 파형을 디스플레이 함으로써 분석된 결과 및 파형을 가장 효율적으로 사용자에게 제공한다.

5. 참고 문헌

- (1) 정근호, 신경희, 유재우, 송후봉, "객체지향언어를 위한 대화식 시각 프로그래밍 환경",HCI '95 학술대회 발표 논문집, 1995.
- (2) Ann L. Winblad, Samuel D. Edwards, David R.King, Object-Oriented Software, Addison - Wesley Publishing Company, Inc.
- (3) Willis J. Tompkins, "Biomedical Digital Signal Processing", Prentice-Hall International , Inc. 1993.
- (4) P.Laguna N.V.Thakor, P. Caminal, R.Jane, Hyung-Ro Yoon, "New algorithm for QT interval analysis in 24-hour Holter ECG: performance and applications", Medical & Biological Engineering & Computing, January 1990.
- (5) Gary M. Friesen, et al., "A comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms", IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Vol. 37. No. 1. January 1990.
- (6) Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing", Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1993, 572-573.
- (7) C.Caroubalos, et al., "Method for an automatic analysis of the ECG", ECG treatment. extraction of parameters, 1987.
- (8) William H. Press, et al., "Numerical Recipes in C", Cambridge university press, second edition, pp 594-597, 1992.
- (9) Mladen Victor Wickerhauser, "Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software", IEEE PRESS, pp. 443-462, 1994.
- (10) Paul A. Lynn, "Digital Signal Processing with Computer Applications", Revised Edition, John Wiley & Sons Ltd. pp. 324, 1994.
- (11) David J. Druglinski, "Inside Visual C++", second edition, Microsoft Press, 1994.