

# 시각화 프로그래밍에 의한 Holter 분석 시스템 개발

이세진·이경중·윤형로

= Abstract =

## Development of Holter Analysis System by Visual Programming

S.J. Lee, K.J. Lee, H.R. Yoon

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 analyze ECG signal, we only select the icon representing an 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. Also, we can find the optimal algorithm for the ambulatory ECG analysis by comparing the several results obtained from the various analysis configuration.

**Key words** : Visual programming, GUI, Ambulatory ECG

### 서 론

본 연구는 시각화 프로그래밍 기법을 이용한 Holter 분석 시스템 개발에 관한 연구이다. 대부분 기존의 분석시스템은 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 데이터 분석 능력을 극대화 한다. 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 시각화 프로그래밍(visual programming)에 의해 분석된 데이터를 디스플레이 및 통계처리를 하려는 추세이다[1].

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 개발환경은 아이콘, 다이어그램과 같은 시각적 요소들을 이용한 GUI에 중점을 둔 시스템들이다. 그리고 객체지향적 개발환경은 클래스 라이브러리(class library)를 이용하여 소프트웨어의 재사용과 고수준의 사용자 인터페이스(user interface) 제공을 목적으로 한다[1,2].

본 연구에서는 다양한 ECG 신호 분석 알고리즘을 시각화 프로그래밍에 의해 아이콘화하여 다양한 분석을 가능케 함으로써 ECG 신호 분석시스템의 분석능률을 극대화하며, 또한 분석된 결과에 GUI환경을 제공함으로써 사용의 편리성을 갖춘 Holter 분석 시스템을 개발한다.

### 시각화 프로그래밍 방법에 의한 Holter 분석 시스템의 구성

#### 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. 분석 알고리즘 구성

분석 알고리즘은 잡음제거를 위한 필터 부분, QRS 콤플렉스 및 특징점 검출 부분, 부정맥 검출 부분으로 구성되어 있다.

1) 잡음제거용 필터는 FIR 필터[8], IIR 필터[3], 적응 필터[6], Cubic Spline 보간(interpolation)을 이용한 필터[7,8] 등으로 구성되어 있다.

FIR 필터로는 Hanning 필터, 최소 자승 다항식 스무딩(Least-squares polynomial smoothing), 60Hz notch 필터를 사용하였고, IIR 필터로는 2 pole 저역통과·고역통과·대역통과·대역제거 필터, 정수형 저역통과·정수형 고역통과 필터를 사용하였다.

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

2) 검출 부분의 알고리즘은 미분 및 절대값을 취하는 부분, QRS 콤플렉스 검출·R 점 검출·QRS onset 검출·T peak 및 T end 검출·템플릿(template) 분류 알고리즘 등으로 구성되어 있다.

미분 알고리즘으로는 2~10점 미분, 최소 자승 다항식 미분 추정(least-squares polynomial derivative approximation)[3], 이차 미분(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 웨이브렛 변환(wavelet transform)[8,9]을 이용한 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘을 사용하였다.

특징점 검출 알고리즘으로는 R점과 Q점의 검출 알고리즘, QRS onset 검출 알고리즘, T peak와 T end점 검출[4]알고리즘을 사용하였다.

템플릿 분류 알고리즘은 QRS 콤플렉스를 검출한 후 입력된 ECG 파형의 형태에 따라 유형별로 파형을 분류하고 유형별 템플릿의 갯수와 원래파형에서 분류된 템플릿들의 위치를 저장하는 알고리즘이다.

부정맥 검출 알고리즘[10]은 RR 간격과 여덟개의 RR 간격의 평균인 AR 간격을 사용하여 검출하게 된다.

## 3. 시스템의 운용 체계

본 연구에서는 사용자가 그래픽 환경에서 시스템을 쉽

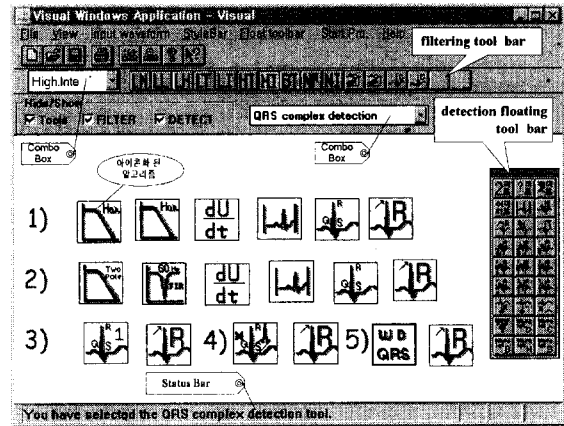


그림 1. 신호처리 시스템의 구성 예  
Fig. 1. The examples of the signal processing system

게 운용할 수 있게 하기 위해서 윈도우즈 환경하에서 Microsoft Foundation Class(MFC) 라이브러리를 이용한 Visual C++을 통하여 개발하였다.

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

### 1) 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 예이며, 3)은 AF 형태의 알고리즘 중에서 첫번째 형태인 AF1을 사용하여 QRS 콤플렉스를 검출하는 루틴이며, 4)는 TM 방법에 의한 QRS 콤플렉스 검출을, 5)는 웨이브렛 변환을 이용한 QRS 콤플렉스 검출 루틴을 보여준다.

### 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 입력 파형을 관찰할 수 있도록 작성된 비트맵 버튼을 눌러 잡음이 파형에 섞여 있는지 확인하여 적절한 필터를 필터링 툴 바에서 마우스로 선택한다.

② 마우스로 필터 선택시 선택된 필터의 특성에 맞는

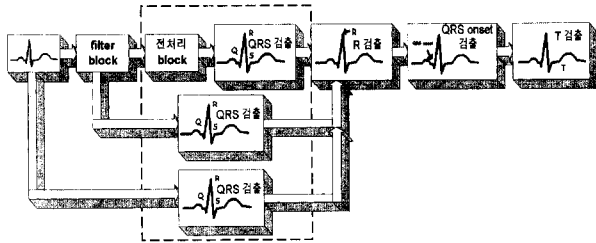


그림 2. 아이콘화된 알고리즘들로 구성된 루틴의 처리 과정 블록도  
 Fig. 2. A block diagram of the processing routine consisted of iconized algorithms

파라미터들을 입력한다.

③ 그림 1의 아이콘화된 알고리즘들을 마우스로 선택하여 처리영역(processing domain)내의 적절한 위치에 놓는다.

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 신호 분석이 모두 끝난 다음 결과를 보고 싶을 경우 각 알고리즘의 아이콘에 마우스의 커서를 위치시키고 버튼을 누르면 선택된 알고리즘을 이용한 처리결과를 보여 주게 된다.

### 3) 아이콘화된 알고리즘들간의 상호 연관성

아이콘화된 알고리즘들은 서로 종속적속되어 있으므로 아이콘 배열순서 대로 신호처리가 이루어진다. 그림 2의 점선으로 표시된 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘의 입력으로 i)원파형 ii)잡음제거용 필터를 통과한 파형 iii)잡음제거용 필터와 전처리 과정을 거친 파형 등을 사용할 수 있다. 점선부분에서 처리된 결과는 R점 검출 알고리즘으로 입력되고, 필요한 파라미터 등을 검출하게 된다.

### 4. 분석된 데이터의 통계처리 및 디스플레이 부

분석된 데이터의 통계처리를 위해 분석된 항목들을 표와 그래프로 보여주도록 작성한다. 디스플레이부에서는 10초간, 1분간, 10분간, 1시간동안의 ECG파형을 볼 수 있도록 제작하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있다. 또한 사용자가 ECG파형이 이상하다고 생각되는 부분은 마우스로 선택하면 더욱 자세히 볼 수 있는 확대 기능등이 있다.

### 5. 보고서 작성부

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

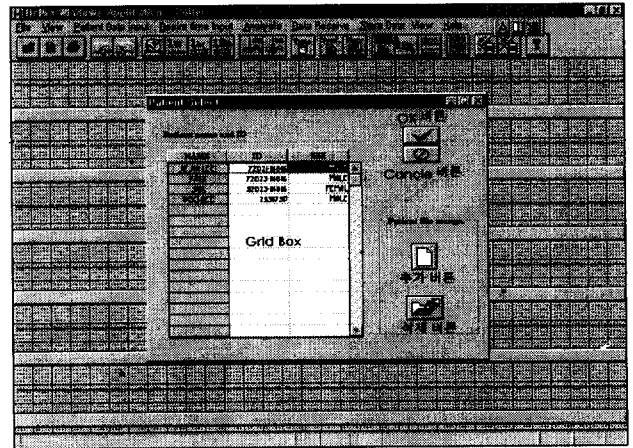


그림 3. 환자 선택 대화상자  
 Fig. 3. Dialog box of the patient selection

## 결과 및 고찰

### 1. 환자 데이터 입·출력 처리부

그림 3은 환자를 선택 하는 대화상자로 환자의 이름과 ID, 성별이 나타나 있는 그리드 박스(grid box)에서 원하는 환자를 선택하게 되며, 필요에 따라 추가버튼과 삭제 버튼을 사용함으로써 환자의 추가와 삭제를 할 수 있다. 또한 환자의 이름과 ID, 성별로 정렬할 수 있는 기능을 가지고 있다.

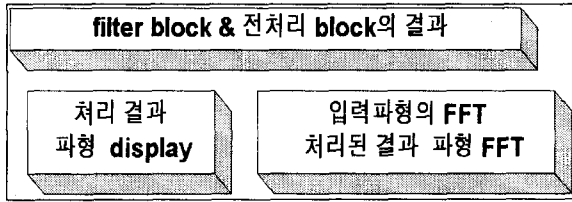
### 2. 파라미터 추출 및 데이터 분석부

본 연구에서는 ECG 신호 분석을 위한 기본 데이터 처리 블록을 그림 2와 같은 형태로 구성한 후 사용자가 원하는 데이터 처리 알고리즘을 각 블록에 위치 시킴으로써 다양한 신호분석을 할 수 있도록 하였다. 또한 데이터 분석 결과가 사용자가 원하는 결과가 아닐 경우 기존의 분석 알고리즘을 삭제하고 새로운 알고리즘으로 대체함으로써 쉽게 새로운 처리 루틴을 구성할 수 있다.

각 알고리즘의 처리 결과는 아이콘화된 알고리즘을 마우스로 선택하여 결과를 볼 수 있으며, 이때의 결과는 처리 루틴 중 선택한 알고리즘까지 결과를 보여준다.

신호 분석결과에 한 예로써 그림 4와 그림 5에 잡음제거 루틴과 검출 알고리즘 루틴의 처리 결과를 보여준다.

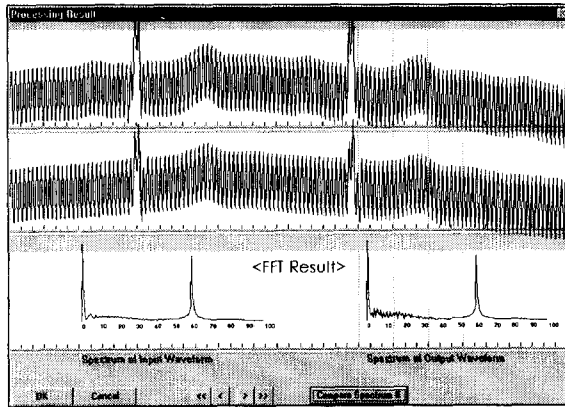
그림 4의 b)에서 보여주는 것과 같은 아이콘화된 60Hz notch 필터와 기저선 변동 제거 필터에 그림 4의 c)에서 보여주고 있는 60Hz 잡음과 기저선 변동을 가지는 파형을 입력으로 사용한 결과는 그림 4의 d)와 같이 60Hz 잡음성분과 기저선 변동이 제거 파형이 출력된다. 또한 그림 4의 d)에서는 FFT를 사용하여[11] 입력 파형의 주



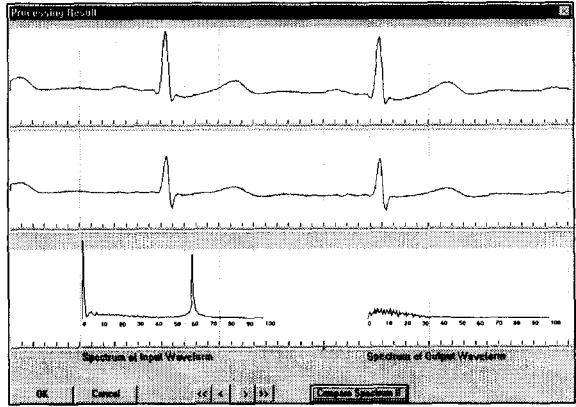
a)



b)



c)



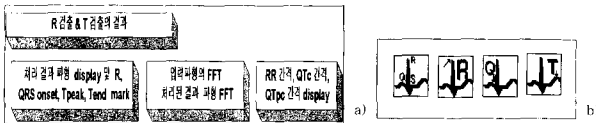
d)

그림 4. 잡음제거 루틴

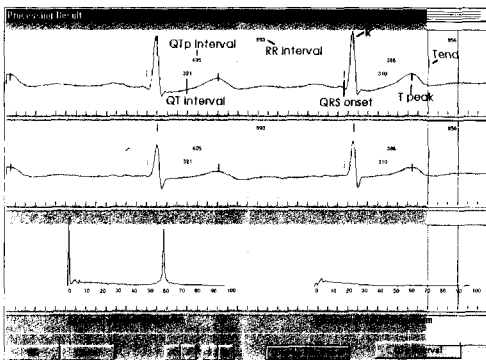
a) 잡음제거 루틴의 블록도 b) 아이콘화된 알고리즘 c) 원파형 d) 잡음이 제거된 파형

Fig. 4. Noise elimination routine

a) A block diagram of the noise elimination b) The iconized algorithms c) Input waveform d) The noise eliminated waveform



a) b)



c)

그림 5. 검출 루틴

a) 검출부분의 블록도 b) 아이콘화된 알고리즘 c) 검출 결과

Fig. 5. Detection routine

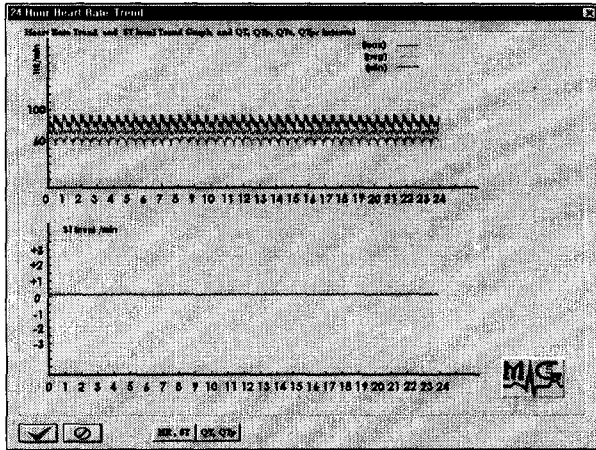
a) A block diagram of detection part b) The iconized algorithms c) Results of the detection

파수 스펙트럼과 60Hz 잡음 제거 알고리즘의 처리 결과 파형에 대한 주파수 스펙트럼의 차이를 보여준다.

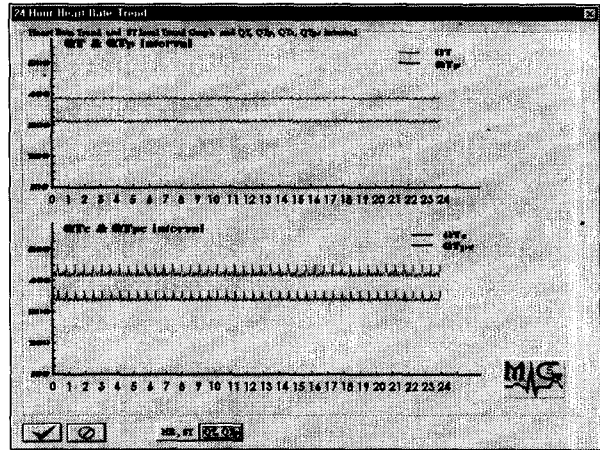
그림 5의 b)의 아이콘화된 검출 알고리즘을 사용하여 잡음이 제거된 입력 파형에 대하여 각 특징점을 검출한 결과는 그림 5의 c)와 같다. 이 결과는 AT 방법에 의해 QRS 콤플렉스를 검출한 후, R 점, QRS onset, Q 점, T peak, T end점을 모두 찾고 RR 간격, QT 간격 등을 보여주고 있다.

### 3. 통계처리 및 디스플레이 부

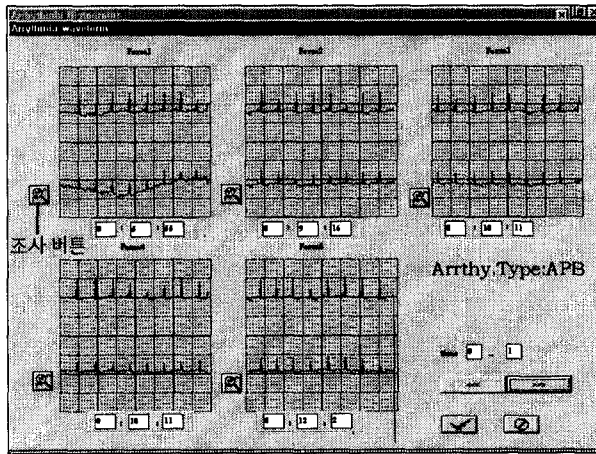
그림 6에서와 같이 시각화 프로그래밍 방법으로 분석된 결과(R 점의 위치, QRS onset의 위치, Tpeak, Tend의 위치, 부정맥 검출 결과)를 GUI기법을 도입하여 표와 그래프로 나타낼 수 있어 사용자의 편의를 도모하였다. 그림 6의 a)와 b)는 심박수, ST 레벨(level), QT, QTc, QTp, QTpc 간격의 24시간 동안의 트렌드(trend)를 보여준다. 그림 6의 c)에서는 각 시간동안의 최대·최소·평균 심박수, ST 레벨, QRS 콤플렉스의 개수등을 표로 나타내고, 표에서 그래프로 보기 원하는 항목을 마우스로 선



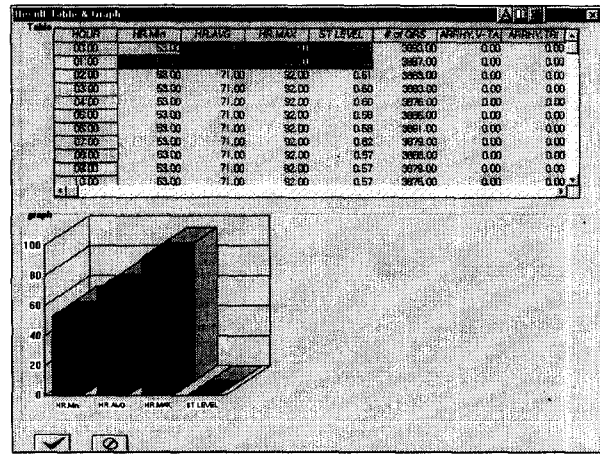
a)



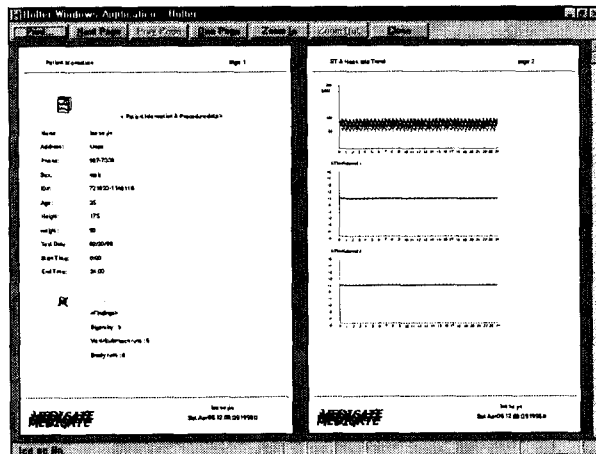
b)



d)



c)



e)

그림 6. 통계처리 및 디스플레이 결과

- a) 심박수, ST 레벨의 트렌드
- b) QT, QTp, QTc, QTpc 간격 트렌드
- c) 통계처리된 표와 그래프
- d) 부정맥 검출 결과
- e) 화면 인쇄 기능

Fig. 6. Statistic treatment and display

- a) Trend of the heart rate and the ST level
- b) Trend of the QT, QTp, QTc, QTpc interval
- c) The statistic processing table and graph
- d) The result of arrhythmia detection
- e) The screen printing function

택하면 선택된 부분을 3차원 그래프로 나타낸다. 그림 6의 d)는 부정맥 검출 결과를 부정맥 파형과 부정맥 발생 시간을 동시에 보여주고 있다. 그림 6의 e)는 화면 인쇄 기능으로 프린팅하려는 모든 항목을 미리 보는 기능이다.

이와 같은 시각화 프로그래밍 방법에서의 ECG 신호 분석은 일련의 일정한 알고리즘만을 가지고 신호를 분석하는 것이 아닌 여러 가지 알고리즘을 가지고 ECG 신호의 잡음제거, 특징점 검출, 부정맥 검출등을 복잡한 절차를 거치지 않고 간단하게 할 수 있다. 이러한 이유로 QRS 콤플렉스 검출시 가장 적절한 잡음제거 방법 및 전처리 과정을 선택하여 QRS 콤플렉스 검출 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있고, 여러 가지 QRS 콤플렉스 알고리즘들을 간단하게 ECG 파형에 적용하여 각 알고리즘들의 특성 및 성능을 비교 평가함으로써 새로운 알고리즘의 개발에 도움이 될 수 있다.

이와 같은 것을 고려해 볼 때 시각화 프로그래밍에 의한 Holter 분석 시스템은 알고리즘의 성능 평가, 필터 성능 개선, 알고리즘 개발 환경 제공 역할과 더불어 교육용으로도 유용할 수 있다. 또한 GUI를 이용한 통계처리 및 디스플레이 시스템은 Holter ECG의 분석 결과를 보다 쉽고 자세하게 살펴볼 수 있어 진단에 많은 도움을 줄 것이다.

### 결 론

1) 사용 목적에 따라 아이콘화된 각 알고리즘의 파라미터를 간단히 조정할 수 있게 함으로써 각 알고리즘의 특성 및 성능을 비교할 수 있다.

2) 그래픽 환경 하에서 작성된 아이콘화된 알고리즘들을 필요에 따라 조합할 수 있게 함으로써 심전도 신호에 대한 다양한 분석을 가능케 하며, 최적의 시스템 분석 결과를 얻을 수 있다.

3) 시각화 프로그램에 의해 분석된 결과를 GUI개념을 도입하여 통계처리 및 파형을 디스플레이 함으로써 분석 결과 및 파형을 효율적으로 사용자에게 제공한다.

### 참 고 문 헌

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., pp. 572-573, 1993.
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. Willis J. Tompkins, John G. Webster, EDS. "Design of Microcomputer-Based Medical Instrumentation", PRENTICE-HALL, pp. 394-401.
11. Paul A. Lynn, "Digital Signal Processing with Computer Applications", Revised Edition, John Wiley & Sons Ltd. pp. 324, 1994.