

# 심전도 자동 진단 알고리즘 및 장치 구현(I) - YECGA 개요

권혁재, 정기삼, 정성진, 최석준, 이명호

연세대학교 전기공학과

## An implementation of automated ECG interpretation algorithm and system(I)

### - Introduction of YECGA

H.J. Kweon, K.S. Jeong, S.J. Chung, S.J. Choi, M.H. Lee

Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

#### Abstract

The purpose of this thesis is the propose of various signal processing algorithm for the ECG(electrocardiogram) and the design of realtime automated ECG analyzer feasible with these algorithms. The algorithms are composed of : (1)filtering procedure for the estimation and removal of baseline drift, 60Hz power line interference, and muscle artifacts (2)detection procedure of QRS complex and P wave (3)typification procedure for the pattern classification according to the morphologies (4) selection of representative beat, significant point, and wave boundary decision procedure and (5) parameter extraction and diagnosis procedure. All verifications are carried out between the algorithms proposed in this paper and other algorithms already proposed by many researchers, for the objective comparison in each procedure. The efficiency of proposed algorithms are demonstrated with the aid of internationally validated CSE database and the performances of filtering procedure are compared on artificial noise signal as well as actual ECG signals with appropriate noise components. For the comparison on the performance of designed automated ECG analyzer, the diagnosis results were compared with ECG analyzer manufactured by Fukuda denshi in Japan.

#### 서론

심전도 자동 진단 장치는 심전도 해석 프로그램과 이를 구현하기 위한 하드웨어 시스템으로 구성

된다<sup>(1)</sup>. 심전도 해석 프로그램은 다시 신호 처리 프로그램과 진단 분류 프로그램으로 나눌 수 있다. 심전도 해석 프로그램은 신호 처리와 진단 분류 과정으로 나눌 수 있다. 신호 처리 과정은 데이터 수집, 데이터 변환, 진단 파라미터 추출 과정으로 세분화 할 수 있으며, 데이터 변환 과정은 디지털 필터링, 검출, 파형 특성표시, 대표 비트 선택, 특성점 및 구분점 인식과정으로 나눌 수 있다<sup>(2)</sup>. 이와같은 일련의 심전도 신호 처리 과정은 그림 1과 같이 일반적인 패턴 인식 과정 흐름도와 유사하게 나타낼 수 있다. 심전도 자동 진단 장치의 구현은 전극의 부착부터 결과 출력까지 일련의 고리 구조로 이루어져 있다. 즉, 전극의 부착, 파형 검출, 인식, 분류과정에서 발생하는 오류는 최종적인 진단 결과에 대한 정확성의 결여를 초래하며, 또한 큰 잡음 성분의 유입은 심전도 신호처리에 대한 효율성을 크게 감소시킨다<sup>(3,4,5)</sup>.

본 논문은 일반적인 심전도 해석 장치들이 갖고 있는 서로 상충되는 문제점 즉, 진단의 정확성과 독립적인 하드웨어 시스템으로 실시간 구현이 가능한 진단(해석)알고리즘 및 자동진단 시스템(YECGA)을 구현을 목적으로 한다. 본 논문은 우선 기존의 심전도 자동 해석 알고리즘을 분석한 후 본 논문에서 제안한 자동 해석 시스템(YECGA)의 전체 구조를 설명하고자 한다.

#### YECGA(Yonsei ECG analyzer)

기존에 제안된 자동해석 알고리즘들은 각각의 싱글 리드에 대하여 필터링을 수행한 후, 심장의 전기적 활동에 의해 발생하는 각 파형(P 파, QRS 컴플렉스 및 T 파) 검출 및 각 파에 해당하는 패턴을 분류하고 다시 이를 이용하여 파라미터 추출 하는 단일 리드 처리 시스템이었다. 이와 같은 과정이 12 리드 전체에 대하여 독립적으로 수행되기 때문에 처리 시간이 많이 소요되며, 또한 검출 및 패턴 분류의 정확성을 위하여 신경 회로망, 구분론적 패턴 인식등 여러 가지 알고리즘이 사용되기 때문에 독립적인 자동 진단 하드웨어 시스템으로는 구현이 불가능하였다. 물론 미국과 일본등 일부 선진국에서 상품화된 자동 진단 장치가 나와있지만, 이들이 사용한 알고리즘에 대한 정보는 얻기가 불가능하다.

대부분의 연구에서 잡음 성분 제거를 위한 필터링 과정은 잡음 유,무에 상관없이 모든 신호에 적용하였기 때문에 원 심전도 신호의 왜곡과 실시간 처리를 방해하는 가장 큰 원인이 되었다. 따라서 본 논문은 필터링 과정을 수행하기 전에 잡음 성분의 존재 유,무를 판별하고, 존재하는 것으로 판정된 경우에만 필터링을 수행하였다. 또한 필터링 과정도 모든 신호에 대하여 적용하는 것이 아니라 대표 비트에 대해서만 적용 함으로서 필터링으로 인한 시간적 손실을 최소화하였으며, 원 신호의 왜곡을 최소화하기 위한 새로운 필터 방법을 제안하였다<sup>(6,7)</sup>.

QRS, P, 및 T 파와 같은 특성점 검출은 단일 리드에 대하여 독립적으로 검출하는 방법이 사용되어 왔다. 즉, 하나의 QRS 컴플렉스에 대하여 기준점(대부분이 R 파)을 검출한 후 Q 파, S 파등을 차례로 검출한다<sup>(8)</sup>. 다시 이 정보를 이용하여 QRS 형태의 분류 및 구분점 인식 과정이 진행되었다. 이와 같은 과정은 P 파와 T 파도 마찬가지로 수행되며, 한 리드의 모든 파형에 대하여 차례로 수행한 후 다시 12 리드에 개별적으로 적용하는 방식이 널리 사용되어왔다. 본 논문은 우선 QRS 컴플렉스의 경우 유사한 발생 특성을 갖는 3 개의 리드를 하나의 그룹으로 묶어서 QRS 컴플렉스를 검출하는 공간 속도 알고리즘을 사용하여 검출 시간 및 성능을 향상 시켰다. QRS 관련 리듬 분석과 대표 비트를 구하기 위하여 특성 표시 과정을 사용하였다. 특성 표시 과정은 일종의 패턴 분류 과정이지만 자세한 QRS 패턴 분류를 수행하는 것이 아니

라 '같다', '다르다'는 2 가지 패턴만을 분류하고 이에 대한 정보를 이용하여 대표 비트 및 리듬 분석 등에 사용하기 때문에 일반적인 통계적, 구분론적 패턴 분류 방법보다 빠른 처리속도가 가능하였다<sup>(9)</sup>. 또한 정확한 대표 비트를 구하기 위하여 ST 세그먼트 및 T 파에 대한 특성 표시 과정도 수행함으로써 편이가 발생된 ST 세그먼트 및 T 파는 대표 비트를 구하기 위한 평균화 과정에서 제외 시킴으로써 정확한 대표 비트를 얻을 수 있게 하였다. P 파 검출도 결합성, 비 결합성 검출 및 심방 조동 검출 과정으로 나누어 심방 관련 질환에 대한 정보를 미리 구하여 진단의 효율성을 향상시켰고, 대부분의 P 파 형태인 결합성 P 검출 방법도 모든 P 파에 대하여 검사하는 것이 아니라 최적의 P 파 탐색 구간 수를 찾아 P 파의 위치만을 검사하고 나머지 부분에 대한 P 파의 위치는 검색된 P 파의 위치를 기준으로 찾는 방법을 사용하였다. 파라미터 추출은 위의 과정들을 거쳐 구한 대표 비트에 대하여 각 파의 특성점 및 구분점을 찾았고, 진단은 미네소타 코드의 진단 기준을 사용하여 이와 관련된 질병명과 함께 출력할 수 있도록 하였다. 또한 이와같은 모든 알고리즘이 구현 될 수 있는 하드웨어 시스템을 제작하였다.

본 논문에서 심전도 신호처리 과정은 데이터 수집, 데이터 변환, 특징점 검출로 세분화 할 수 있으며, 데이터 변환 부분은 다시 디지털 필터링, 검출, 파형 특성 표시 및 비트 선택, 구분점 인식과정으로 나눌 수 있다. 본 논문은 모듈 방식으로 구성되어있다. 즉, 각 과정마다 기존의 방법에 대한 설명과 문제점 및 새로운 알고리즘이 제안되게 된 연구 배경을 설명하고 제안된 알고리즘에 대한 연구 방법 및 연구 결과의 순서로 구성된다. 연구 결과에 대한 성능 평가는 방법으로, 디지털 필터링과 같이 원신호에 대한 정보가 없어 객관적인 비교 평가가 불가능한 경우에 대해서는 인위적으로 만든 잡음 성분을 이용하였으며, 또한 잡음 성분이 존재하는 실제 심전도 신호에 적용 함으로서 양적, 질적 비교 평가를 수행하였다. 검출, 특성 표시, 그리고 파라미터 추출 과정에서는 표준화된 심전도 데이터 베이스인 CSE 데이터 베이스를 사용하여 기존에 제시된 연구 방법과의 비교 평가를 수행하였다.

설계된 자동 진단 장치의 성능 평가를 위하여 이미 병원등의 임상 분야에서 사용되고 있는, 기존

에 제품화된 자동 진단 장치와 본 논문에서 설계한 자동 진단 장치에 시뮬레이터에서 출력되는 동일한 심전도 입력 신호에 대한 출력 파형 및 진단 결과등을 비교하였다.

**YECGA의 해석 프로그램 구조**

그림 2는 YECGA의 해석 프로그램 구조를 나타낸 그림이다. 전체적으로 7개의 단계로 구분되며(왼쪽), 각 단계에서 수행된 프로그램(중앙) 및 진단 목적에 따른 분류(오른쪽부분) 과정을 나타내었다. 여기서 필터링 과정은 선택적으로 수행되기 때문에 위의 과정에는 포함되지 않았다. 각 단계별 특성은 아래와 같다.

(1) 입력단계

AHA(American Heart Association)과 CSE(Common Standard for European)등에서 규정한 심전도 입력 신호조건 즉 CMRR, SNR, 입력시간, 전극의 위치, 샘플링 비, 해상도등에 의거하여 심전도 신호를 수집한다(INPUT).

(2) 검출단계

심전도 신호처리에서의 검출단계는 스파이크 및 잡음성분 검출단계(전처리), QRS 컴플렉스의 위치 검출단계(QRS\_FIND)과 P파 및 심방조동을 검출하기 위한 부분(P\_FIND)으로 구성된다.

(3) 특성표시단계

특성표시단계는 QRS 컴플렉스의 형태를 분류하고 우세 비트를 결정하기 위한 부분(QRS\_TYPING)과 ST-T 세그먼트 형태를 분류하기 위한 부분(ST\_TYPING)으로 구성된다.

(4) 대표 비트 결정 단계

이 단계는 진단 파라미터 추출등을 수행할 대표 비트를 선택하기 위한 비트 선택과정 및 평균화 과정으로 구성된다(Rep\_Beat).

(5) 분할 단계

분할 단계는 진단에 필요한 특성 파라미터를 구하기 위한 특성점 검출(LOC\_PQRST) 및 QRS 컴플렉스에 대한 시작점과 끝점 결정부분(ON\_OFF\_QRS), T파에 대한 결정부분(OFF\_T) 및 P파에 대한 결정부분(ON\_OFF\_P)으로 나눌 수 있다.

(6) 분류단계

이 단계는 진단을 위한 분류 단계로서 부정맥 진단을 위한 부분(CLASS\_ARRHY)과 일반 파형 진단

을 위한 부분(CLASS\_WAVE)으로 이루어진다. 이와같은 분류는 미네소타 코드 기준을 바탕으로 이루어졌다.

(7) 출력단계

출력단계는 진단 파라미터의 수치적 출력, 파형등과 같은 그래픽출력, 진단결과를 위한 텍스트 출력등으로 나눌 수 있다.

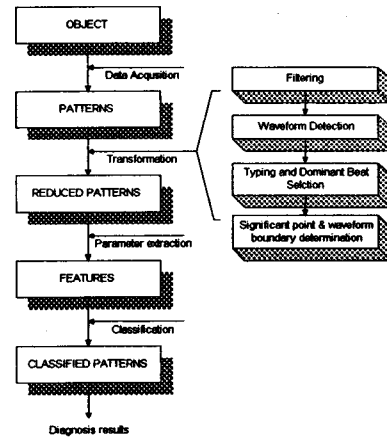


그림 1 심전도 신호처리 과정의 흐름도

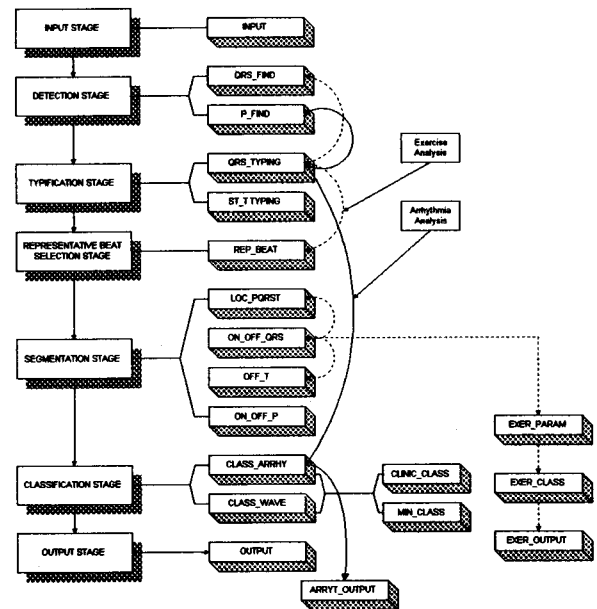


그림 2 전체적인 심전도 해석 프로그램 구조

**YECGA의 하드웨어 시스템**

심전도 자동 진단의 하드웨어 시스템은 크게 인체에서 받은 미소한 심전도 신호를 증폭하고 디지털 데이터로 변환시키는 아날로그 하드웨어부분과 신

호처리 및 진단등을 수행하는 디지털 하드웨어 부분으로 나눌 수 있다.

아날로그 하드웨어 시스템은 그림 3과 같이 보호부, 증폭부, 리드 단락 자동 검출부, 아날로그/디지털 변환부로 구성되며, 디지털 하드웨어 시스템은 그림 4와 같이 마이크로 프로세서 및 주변장치부, 메모리 부, 열전식 출력부, 통신부등으로 구성된다. 심전도 입력 신호는 대부분이 수 mV 이하의 미소한 전압을 갖기 때문에 디지털 데이터로의 변환을 위해서는 약 500에서 1000배 정도의 증폭 과정이 필수적이다. 또한 입력신호 전압 레벨이 매우 미소하기 때문에, 주위 환경에서 발생하는 잡음의 유입을 차단해야 하는 고난도의 설계 기술이 요구된다. 또한 인체에 직접적으로 적용되기 때문에 매우 엄격한 보호회로가 필수적으로 구성되어야 한다.

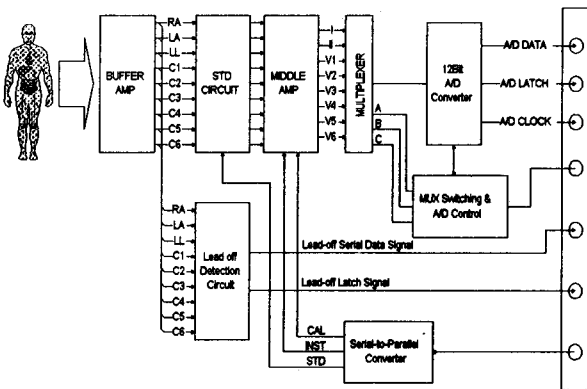


그림 3 심전도 자동 진단장치의 아날로그 하드웨어 시스템 블럭선도

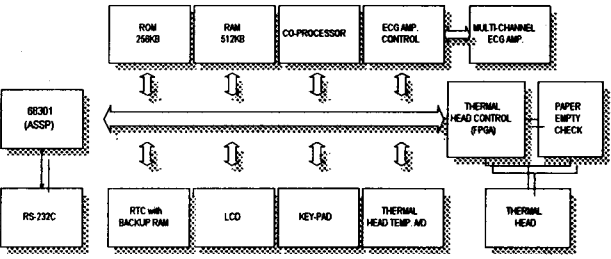


그림 4 심전도 자동 진단장치의 디지털 하드웨어 시스템 블럭선도

결론

위의 절에서 본 논문에서 제안한 심전도 자동진단 장치(YECGA)의 구조 및 각 부분에 대한 설명

을 나타내었다. 필터링, 검출, 특성표시 및 구분점 인식등의 성능평가는 CSE 데이터 베이스를 이용한 객관적인 비교 평가 방법을 사용하여 성능을 검증 하였으며, 또한 최종적인 진단 결과의 성능등은 일본의 대표적인 자동진단 메이커인 Fukuda denshi사에서 나온 심전도 자동 진단 장치와 본 논문에서 제안한 자동 진단 장치(YECGA)에 각각 미네소타 코드를 출력하는 시뮬레이터를 이용하여 출력되는 파형 및 진단 결과를 비교하였다. 이와같은 비교 평가 방법을 통하여 충분한 성능 검증 과정을 거침으로서 진단 결과에 대한 신뢰성을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1]H.J Kweon, B.C Lee, and M.H Lee, "Design of Portable 12 Leads automated ECG analyzer Using 68000 MPU" Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference on EMBS, IEEE, pp.1263-1264, Paris, France, 1992
- [2]H.J.Kweon, J.W.Lee, M.H.Lee, "Design of an Intelligent Multilead ECG analyzer", Proceedings of 2<sup>nd</sup> Far Eastern Conference on MBE, Beijing, China, p23, 1993
- [3]권혁제, 정기삼, 이명호, "심전도 자동진단을 위한 60Hz 전원 잡음 제거에 관한 연구" 의공학회지 1996년 17권 1호
- [4]H.J. Kweon, M.H. Lee, "A Study of elimination of muscle artifacts and spike detection for automated Electrocardiogram analyzer", Journal of KITE, vol 7, No. 2 1996
- [5]권혁제, 이명호, "심전도 자동 진단을 위한 기저선 동요 제거에 관한 연구" 전자공학회지(to be published)
- [6]권혁제, 이명호, "공간속도 알고리즘을 이용한 QRS 컴플렉스 검출에 관한 연구", 의공학회지 (submitted)
- [7]J.W.Lee, H.J.Kweon, M.H.Lee, "A study of Efficient Parameter Extraction Algorithm on Automated ECG analyzer", The 1<sup>st</sup> IEEE/EMBS Region 10 International Conference & Clinical Engineering Symposium, vol. 1(14) 1994
- [8]J.W.Lee, H.J.Kweon, M.H.Lee, "A study of Efficient Parameter Extraction Algorithm on Automated ECG analyzer", The 1<sup>st</sup> IEEE/EMBS Region 10 International Conference & Clinical Engineering Symposium, vol. 1(14) 1994
- [9]H.J Kweon, J.W.Suk, and M.H Lee, "Intelligent QRS typification using Fuzzy clustering algorithm" Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on EMBS, IEEE, vol. 17, no.1, pp.760-761, Montreal, Canada, 1995
- [10]B.C.Lee, H.J.Kweon, M.H. Lee, "QRS recognition using syntatic and nonsyntatic method" Proceedings of 13<sup>th</sup> International Conference on EMBS, IEEE, vol. 13, no.2, pp.590-591, Orlando, USA, 1991