

맥파자동진단을 위한 하드웨어의 설계 및 특성점 검출 알고리즘에 관한 연구

이준영, 이정환, 이명호
연세대학교 공과대학 전기공학과

A Study on the Significant Point Detection Algorithm and Design of Hardware for Pulse Automatic Diagnosis

J.Y.Lee, J.W.Lee, M.H.Lee
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract - Method of diagnosis in oriental medicine, the unbalance of the physiological function of the five viscera and six bowels of the human body is determined from time immemorial with the condition of blood circulation which is performed through blood vessels by the vitality of the heart. In oriental medicine, treatment is largely attempted by adjusting this unbalance. The analysis of pulse wave, which mainly measures the changes in blood flows, is to evaluate the shapes of a pulse wave rather than the quantitative changes like rates and strength of the pulse. This paper presents the development of Hardware System and Pulse Diagnosis Algorithm for automatic diagnosis of the pulse wave. This system makes the precise diagnosis and the objective recording possible.

과와 얻어진 맥파형을 출력하기 위해서 별도의 프린터를 장착하지 않고, 일반 컴퓨터용 프린터와 연결할 수 있도록 ECP/EPP 모드를 지원하는 프린터 포트를 내장하고 있다. 그리고 진단 소프트웨어나 시스템 운영프로그램의 쉬운 upgrade를 시스템 보드 내에 1 Mb Flash 메모리 블록을 탑재하여 쉽게 시스템의 유지보수를 할 수 있게 하였다. 그림 1은 본 연구를 통하여 제작한 시스템의 구성도이다. 그리고 그림2는 구성도를 바탕으로 제작한 시스템의 사진이다.

1. 서 론

기존의 맥파진단은 전적으로 숙련된 한의사가 아날로그 형태의 열전사식 프린터를 통하여 출력된 맥파 신호를 보고서 그 맥을 감별하여 망진(望診), 문진(聞診), 문진(問診) 등의 3진과 결합하여 질병의 음, 양, 표, 리, 한, 열, 허, 실을 진단하였다. 본 논문에서는 이와 같은 체계화된 맥파진단법을 토대로 센서단에서 입력되어지는 맥파신호로부터 잡음을 제거하기 위한 필터링, 인식 알고리즘에 필요한 신호처리를 행하는 디지털 하드웨어와 진단 알고리즘의 구성 및 맥파형의 구성요소를 분석하여 임상응용에 도움을 줄 수 있는 파라미터를 제시하였으며 아날로그 맥진기를 디지털 맥진기로 변환시키는 과정에서 필요한 기존 아날로그 맥진기 출력단에 있는 Galvanometer에 대한 디지털 필터의 설계와 획득한 맥파에 대한 자동진단을 행하기 위해 필요한 특성점을 추출하는 알고리즘을 설계하였다. 그리고 환자들의 맥파를 직접 획득하여 본 연구에서 구한 알고리즘으로 진단을 하고 그 유용성에 대해 알아보았다.

2. 하드웨어 구성 및 구성요소 분석

2.1 맥파 분석용 디지털 하드웨어

본 연구에서는 Amp.단을 통하여 입력되어지는 맥파형을 효율적으로 처리하기 위한 하드웨어를 설계하였다. 메인프로세서로는 Intel사의 32비트 프로세서인 i386-EX 프로세서를 탑재하고 있으며, 입력장치로는 8X16 keymatrix를 사용하고, 출력 장치로서는 320X240 도트의 그래픽 기능을 갖고 있는 삼성의 UG-32F01 LCD를 사용하고 있다. 그리고 진단된 결

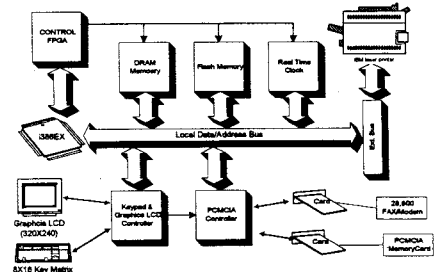


그림 1. 맥파신호를 처리하기 위한 시스템의 구성도



그림 2. 맥파신호처리 시스템



그림 3. 기존의 맥진기와 연결하기 위한 Interface Card와 연결 시스템

그리고 기존의 맥진기로부터 환자의 데이터를 받아 컴퓨터에서 신호를 분석하고, 맥진기의 아날로그부와의 인터페이스를 위하여 그림 3에서와 같은 인터페이스 Card와 맥파신호를 A/D하여 신호처리 시스템에게 A/D 되어진 신호를 전송하기 위한 연결시스템을 제작하였다. 이 연결시스템은 제작한 맥파신호처리 보드에 그대로 연결될 수 있도록 설계되어, 개인용 컴퓨터에서나 또는 독립적인 맥파신호처리용 보드에서나 어디에나 연결될 수 있는 특징을 가지고 있다.

2.2 맥파형 진단 알고리즘 연구

맥의 전기적 활동을 기록한 맥파는 환자의 상태를 진단하기 위한 중요한 수단이라 할 수 있다. 맥파 진단을 위

한 맥파 신호처리는 맥 신호의 패턴을 인식하여 진단에 사용되는 구분점을 추출하고 진단 기준을 적용하여 환자의 상태를 결정하는 진단과정을 거쳐 수행된다. 맥파 진단의 가장 중요한 부분은 맥파를 구성하는 각 파형에 대한 시점과 종점을 나타내는 구분점을 인식한 후 각 파형에 대한 패턴을 분류하는 패턴 인식과정이다. 정확한 패턴 인식이 수행되어야만 진단에 사용하는 진단 파라미터를 정확하게 추출할 수 있다. 본 시스템을 위해 사용하는 진단 알고리즘은 크게

- 1) 특성점 검출
- 2) 특성점 속성값 계산
- 3) 패턴매칭 및 패턴분류
- 4) 파라미터 추출
- 5) 진단
- 6) 코드 변환

의 6단계로 나누어 볼 수 있다.

표 1. 진동파측정의진단 파라미터

구분	내용	한의학적 해석
변화율	신호 기울기의 크기를 비교 크다 : 활성화된 기운 작다 : 위축된 기운	火, 水의 구분
	신호 기울기의 증가율과 감소율의 크기 비교 증가율>감소율 : 떠오르는 기운 증가율<감소율 : 가라앉은 기운	木, 土의 구분
주파수	중심주파수가 25HZ이므로 측정된 신호의 주파수 크기를 비교 크다 : 활성화된 기운 작다 : 위축된 기운	火, 水의 구분
간섭파	신호가 순수한 단일 신호가 아닌 간섭신호가 결합되어 있지 않는가를 검토 간섭파의 존재 : 거칠은 기운	金의 구분
시간 지연	신호의 시간 지연 현상이 존재하는가를 검토 시간지연의 존재 : 응축된 기운	藏의 구분
기타	기타 특수한 신호의 검출	弦, 緊, 結의 구분

3. Galvanometer Modeling

맥진기의 amp단을 거쳐 나와서 galvanometer로 들어가는 입력 신호는 thermal printing에 의해 database에 저장되게 된다. 이렇게 database에 저장된 출력 신호는 amp단을 거쳐서 나온 신호를 입력 신호로 갖는 digital hardware를 통해서 출력된 신호와 동일한 결과를 가져야 지금까지 축적되어온 임상 data들이 의미를 갖게 된다. 그러므로 galvanometer를 통해서 나온 출력 신호와 동일한 결과를 갖는 digital filter를 modeling하는 것이 무엇보다도 중요하다고 하겠다. 이 실험에서는 그림 4의 Steiglitz-McBride iteration method를 이용하여 digital filter를 modeling하였다.



그림 4. Steiglitz-McBride iteration method

Steiglitz-McBride 방법은 그림 5의 (a)에서 구한 식 (1)과 같은 에러함수를 최소화하기 위해서 디지털 필터의 계수인 A(z)와 B(z)를 업데이트 하는 것이다. 식 (2)는 이렇게 해서 구한 계수의 행렬식이다.

$$E(z) = X(z) - \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{X(z)A(z) - B(z)}{A(z)} \quad (1)$$

$$([X^{(i)} H_A^{(i)}]^T [X^{(i)} H_A^{(i)}]) \begin{bmatrix} a^{(i+1)} \\ -b^{(i+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S^{(i+1)} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

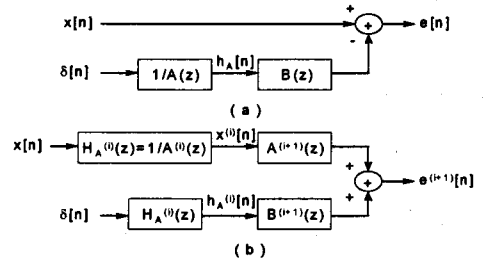


그림 5. iterative prefiltering의 과정.

(a) direct 방법의 블록선도.

(b) iterative prefiltering의 블록선도.

4. 맥파 신호의 특성점 검출

일반적으로 진단이 가능한 맥파의 가짓수는 33!가지이다. 그러나 실제로는 이 많은 맥파를 정확하게 분류한다는 것은 불가능하기 때문에 오행(五行)(木, 火, 土, 金, 水)의 성질별로 크게 다섯 가지의 범주에 모든 맥파를 분류하여 해석하는 방법이 편리하다. 이렇게 하면 맥파의 성질별 가짓수는 5!(120)가지로 축약된다. 맥파 신호에서 특성점을 검출하기 위한 기준은 다음과 같다.

- 1) 위 또는 아래로 편중되어서는 안된다. (木, 土의 구분) 맥파의 윗부분 진폭이 아랫부분보다 클 때는 木이고 그 반대의 경우는 土이다.
- 2) 진폭은 8mm에서 15mm 사이에 존재해야 한다. (水, 熱의 구분)
- 3) 꼭지점의 숫자는 3개에서 6개 사이여야 한다. (水, 火의 구분) 꼭지점의 숫자가 2개 이하이면 水이고 7개 이상이면 火이다.
- 4) 맥파간의 간격은 15mm에서 24mm 사이여야 한다.
- 5) 거친 기운의 간섭이 없어야 한다. (金の 구분)
- 6) 구부러진 모양이 존재하지 않아야 한다.

위의 기준을 토대로 맥파의 특성점을 추출하기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 설계하였다.

4.1 최소자승법을 이용한 맥파의 미분

$$y_k = \frac{1}{60} (-4y_{k-4} - 3y_{k-3} - 2y_{k-2} - y_{k-1} + y_{k+1} + 2y_{k+2} + 3y_{k+3} + 4y_{k+4}) \quad (3)$$

식 (3)은 본 연구에서 맥파를 미분할 때 사용된 식이다. 이 식은 마차 필터의 역할을 하고 있다.

4.2 영점교차에 의한 특성점 후보의 검출

4.1에서 구한 미분값을 가지고 기울기가 변화하는 변곡점을 찾기 위하여 i 번째 데이터의 기울기 값과 $i+1$ 번째 데이터의 기울기 값을 곱하여 그 값이 0이거나 음수인 점을 찾아 특성점 후보로 간주한다

4.3 특성점 후보의 속성 결정

영점교차에 의하여 검출된 후보점들은 각각 자기만의 속성(attribute)을 갖는데 이 안에는 잡음에 의한 속성들이 포함되어 있다. 그래서 이들 특성점 후보들에 대한 적합성 판정이 필요하게 된다. 잡음에 의한 피크들을 검출하기 위해서는 이들의 속성을 구분하여 판리할 필요성이 있다. 각각의 후보점들의 속성을 결정하는 파라미터들은 다음과 같다.

- ① 현 후보점에서부터 다음 후보점까지의 평균기울기
- ② 전 후보점에서부터 현 후보점까지의 평균기울기
- ③ 현 후보점의 x좌표 (time)
- ④ 현 후보점의 y좌표 (amplitude)

4.4 병합알고리즘

영점교차 알고리즘에 의해 검출된 특성점 후보들은 잡음과 신호의 구분이 명확하지 않기 때문에 그대로 특성점으로 보기에는 어렵다. 본 연구에서는 신호에 유입된 잡음을 후보점으로 잘못 인식한 것을 제거하기 위하여 병합(merge) 알고리즘을 설계하였다. 이 알고리즘은 실험을 통하여 잡음성분들이 쌍(pair)을 이루며 일정한 조건들을 만족하는 현상을 확인하고 이 성질을 이용하여 일정한 조건을 만족하는 피크들을 잡음으로 간주하여 특성점 배열에서 삭제하는 알고리즘이다.

5. 실험 및 결과 고찰

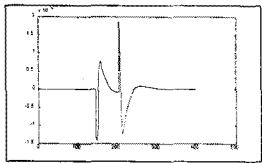


그림 6. 증폭단을 거쳐서 나온 입력신호

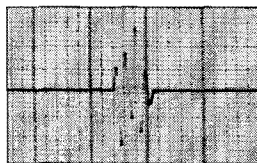


그림 7. Galvanometer를 거쳐서 thermal printing된 출력 신호

그림 6은 galvanometer를 통해서 들어가는 신호로서 증폭단을 거쳐서 나온 신호이다. 이 입력 신호는 맥진기의 세 가지 채널 중에서 관(關)에서 잡은 입력 신호로서 peak-to peak 전압이 5V이고 주파수가 1Hz이며 샘플링 레이트가 1kHz인 사각파형을 입력으로 했을 때 증폭단을 거쳐서 나오는 신호이다. 그림 7은 기존 아날로그 맥진기를 통한 출력 신호이고 그림 8은 그림 6의 입력 신호와 그림 7의 출력 신호를 이용하여 3차원 스플라인 보간법과 Steiglitz-Mcbride 방법을 이용하여 설계한 디지털 필터를 통해서 나온 출력 신호이다.

그림 9는 진단알고리즘에 의해 실제 환자의 맥파를 진단한 결과이다. 첫 번째 파형은 꼭지점이 5이고 두 번째 파형은 6개이며 맥파내에 거친 간섭의 기운이 없으며 구부러진 모양도 존재하지 않는다. 또한 진폭이 8mm이

하이며 맥파의 간격은 15mm에서 24mm 사이이고 진폭이 위로 약간 편중되어 있다.

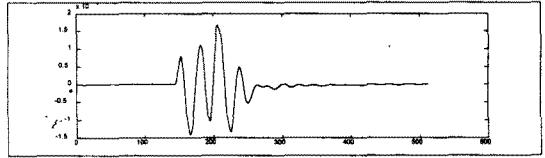


그림 8. 보간법을 이용하여 모델링된 디지털 필터에 의한 출력 신호

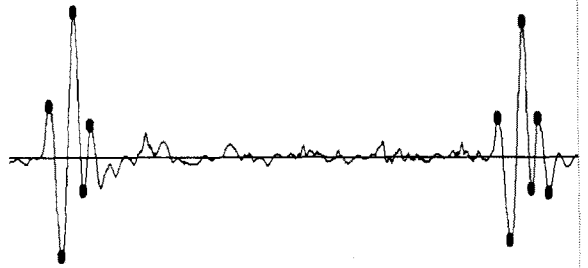


그림 9 진단알고리즘에 의한 맥파의 진단

6. 결론

본 연구에서는 센서단에서 입력되어지는 맥파신호를 입력하여 잡음을 제거하기 위한 필터링, 진단 파라미터를 추출하기 위한 필터링, 인식 알고리즘에 필요한 신호처리를 행하는 디지털 하드웨어 시스템을 개발하였고 임상적으로 유용한 정보를 얻기 위하여 맥파형의 구성요소를 분석하여 체계화된 분류를 하였으며 맥진기의 amp단을 거쳐서 galvanometer로 들어가는 입력 신호에서 기존의 아날로그 방식 맥진기에서의 galvanometer를 통해서 나온 출력 신호와 동일한 결과를 가질수 있게 하기 위해 Steiglitz-McBride iteration method를 이용하여 digital filter를 modeling하였다. 개발된 시스템을 기반으로 하여 계속적인 임상데이터를 통해 대용량의 데이터 베이스를 구축하는 연구가 지속적으로 이루어야할 것이다.

이 연구는 1997년도 통상산업부에서 시행한 공업기반기술개발사업과제 연구비에 의하여 수행되었음.
(공고번호 961-16-03)

[참고 문헌]

- [1] 홍원식, "황제내경소문", 전통문화연구회, 서울, 1992
- [2] 백희수, "한방 종합진단학", 맥진학회, 서울, 1995
- [3] 백광철, "알기쉬운 맥진학", 맥진학회, 서울, 1995
- [4] 동의학 연구소, "동의학 개론", 여강출판사, 서울, 1993
- [5] 유관휘, "맥진", 현대침구원, 서울, 1991
- [6] Louis L. Scharf, "Statistical Signal Processing Detection, Estimation, and Time Series Analysis", Addison-Wesley Publishing Company, pp.242-248, 1990
- [7] Charles W. Therrien, "Discrete Random Signals and Statistical Signal Processing", Prentice-Hall International Inc, pp.561-564, 1992

- [8] Monson H. Hayes, "Statistical Digital Signal Processing And Modeling", John & Sons Inc., pp.131-175, 1996
- [9] Willis J. Tompkins, "Biomedical Digital Signal Processing", Prentice-Hall International Inc, pp. 132-140, 1993