대한의료정보학회지
제8권, 제4호 Volume8, Number4

128채널 심장전기도 시스템을 위한 3차원 매핑 소프트웨어 개발

한영오, 유선국[1]

남서울대학교 전자정보통신공학부, 연세대학교 의공학교실[1]

3D Mapping Software Development for 128ch. ECG System

Young-Oh Han, Sun-Gook Yoo[1]

Department of Electroic & Information Com. Engineering, Namseoul University,
Department of Biomedical Engineering, Yonsei University[1]

Abstract

The ability to map and ablate the sometimes fleeting automatic atrial tachycardia is greatly enhanced by computerized mapping systems. In this study, we have developed 128 channel computerized data analysis system using microcomputer for basic research of electrophysiology and electrical propagation. The bipolar electrogram information is acquired from 128 cardiac sites simultaneously at a sampling rate of 1 ksampls/sec with continuous and total data storage of up to 30 seconds. When the reference electrogram is selected and reference point is picked up, delay time from the reference point is displayed on three dimensional diagram of the heart. System design permits easy expansion to almost 256 simul- taneous sites. This system is expected to enable us to study pathophysiology of cardiac arrhythmia and to improve the result of diagnosis and surgical treatment for cardiac arrhythmia. ***(Journal of Korean Society of Medical Informatics 8-4,63~67, 2002)***

Keyword : 128Ch. ECG System, 3D Mapping, Labview, Opengl

교신저자: 한영오, 충남 천안시 성환읍 매주리 21 남서울대학교
전화: 041-580-2114 Fax: 041-582-2117 E-mail: youngoh@nsu.ac.kr
* 본 논문은 보건복지부의 G7 선도개발사업 지원금으로 연구함

I. 서 론

심장전기도를 관찰함으로써 심방 내, 심방에서 심실로 혹은 심실내의 전도장애나 심근의 허혈(ischemia), 경색(infarction), 괴사(necrosis)에 따른 심방과 심실의 부정맥(arrhythmia), Wolff-Parkinson-White syndrome(WPW 증후군), 선천성 심장병 등과 같은 질환에서 발생되는 부정맥의 유형을 진단할 수 있다[1,2]. 특히 심장부정맥의 기전 연구와 WPW 증후군의 환자에게서 나타나는 방실 회귀성 빈맥을 수술할 경우에는 짧은 시간(최소1msec)내에 일어나는 심장전기전파 신호를 심장의 각 부위로부터 획득하여 종합적으로 분석하는 시스템이 필수적이다[3].

이러한 시스템을 워크스테이션을 이용할 경우 많은 비용을 들여야만 구현이 가능하다. 그러나 최근에 들어오면서 PC의 성능이 비약적으로 발전함에 따라서 빠른 속도의 데이터 처리와 실시간 분석이 가능해졌다. 또한 PC 기반의 경우에 저렴한 비용으로 업그레이드가 가능하여 다채널 다기능 심장전기도 분석 시스템을 개발하는데 적합한 환경이 되었다. PC 기반의 심장전기도 시스템을 구현하는데 가장 중요한 부분은 데이터를 처리하고 이를 영상으로 보여주는 속도가 중요하다. 한 채널 당 1Khz의 샘플링을 가정한 경우 데이터의 비트 할당량이 12비트이므로 128채널 모두를 처리하려면 약 192kbytes/s의 용량을 처리해야 하는데 이는 현재의 PC의 처리능력으로 충분히 가능한 데이터의 양이다. 또 데이터 처리를 위해 OpenGL 가속 그래픽 보드를 사용하여 CPU의 연산 부담을 덜어주어 부드러운 3차원 모델의 회전과 데이터 표현을 보여주도록 할 수 있다.

본 논문은 128채널 심장전기도 시스템에서 획득된 128채널의 심장전기도 신호를 받아서 PC를 이용하여 각 채널의 심장전기도 지연시간을 QRS 피크 검출 알고리듬으로 계산하고 이 수치를 3차원 가상 심장 모형에 표현할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

II. 시스템 구성

128채널 3차원 심장전기도 시스템은 그림 1과 같이 심장 수술 시에 심장의 표면으로부터 발생되는 전기 신호를 얻는 다중 채널전극으로부터 신호를 받아 이를 앰프부분에서 증폭과 전처리 과정을 거친 신호를 컴퓨터에 입력하는 신호 입력단과 입력된 신호를 받아 들여 이를 3차원 모델에 심장전기도를 나타내는 소프트웨어 부문으로 구성된다. 그림1은 전체 129채널 3차원 ECG매핑 시스템 구성도를 나타낸다.

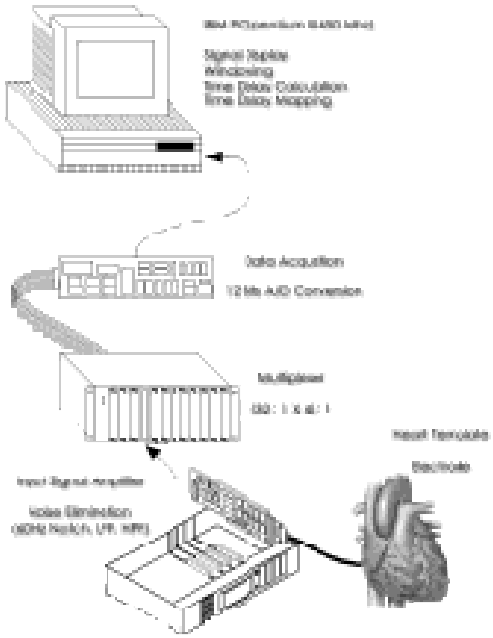

Fig 1. 128채널 심장 전기도 시스템

III. 제안된 소프트웨어

128채널 3차원 심장전기도 시스템에 필요한 소프트웨어는 윈도우 NT를 기반으로 하여 마이크로소프트사의 Visual C++ 6.0을 사용하여 프로그램 하였다. OpenGL API 와 DirectX API[4]를 사용하였으며 시스템의 확장성을 고려하여 객체지향형 프로그램(Object-Oriented Programming - OPP)을 하였다. 그리고 데이터 획득 부분은 National Instrument 사의 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)[6]를 이용하였다.

본 시스템의 소프트웨어는 LabVIEW로 신호 입력 제어부분을 구성하였고 Visual C++를 이용하여 입력 데이터 디스플레이, 분석 구간 선택, 전파 시간 지연 계산 및3차원 심장전기도 작성 등으로 구성되어 있다. 전체프로그램의 구성은 그림 2와 같다.

Fig 2. 전체 프로그램 구성

1. 데이터 획득부 설계

데이터 획득에는 LabVIEW라는 프로그램을 사용하였다. 이것은 모든 운영체계에서 유연성 있는 장치이며 해석 소프트웨어 시스템의 일종이다. LabVIEW는 Visual C++ 과 같은 프로그램 개발 도구이다. 이는 텍스트 기반의 언어를 사용하지 않고 블록 다이어그램을 사용하여 프로그램을 생성한다. 이 개발들을 사용한 이유는 데이터 획득 보드(data acquisition board) 와 멀티플렉서(multiplexer)가 동사의 제품으로써 완벽한 기능을 지원할 수 있기 때문이다. 본 프로그램에서는 데이터 획득을 할 채널 선택, 샘플링 레이트 선택, 버퍼 설정, 최대 저장크기 선택의 기능이 있어서 자유로운 데이터 획득이 가능하다.

신호 입력제어는 전처리 과정을 거친 128채널의 신호의 멀티플렉싱과 샘플링 제어, 최종 이득 조절 및 입력 데이터 량을 조절하여 하드디스크에 저장하는 기능을 한다. 입력 데이터 디스플레이는 저장된 128채널 신호들 중에 필요한 구간을 찾기 위해 기준이 되는 신호, 즉 심전도 신호 및 atrial reference 신호, ventricular reference 신호등을 화면에 나타내는 것을 말한다. 기준 점으로부터 펄스가 나오는 곳까지의 시간 지연을 계산하여 그 위치를 표시한다. 이 때 잡음에 의해 잘못된 신호나 전극에 이상이 있어 신호가 들어오지 않은 경우는 자동으로 전극의 위치를 보정하거나 무시하도록 하였다. 이렇게 하여 최종적으로 얻은 시간 지연을 심장이나 심방 심실 모델에 보간을 하여 색상을 이용하여 매핑함으로써 우회로의 위치를 시각적으로 쉽게 알 수 있도록 하였다.

2. 가상 심장 모형의 제작

가상 심장 모형은 인터넷에 공개된 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 1.0 버전의 파일을 이용하여 필요한 물리적인 좌표계만 얻었다. 아래에 보이는 것이 사용한 VRML Data 이다. 여기서 필요한 부분은 Coordinate3{ 이후에 보여지는 삼차원 좌표이다. VRML에서 좌표는 x좌표, y좌표, z좌표순으로 구성되어 있고 각 좌표는 공란으로 구분되어진다. 또 각 좌표 쉼표로 구분되어진다. VRML에서는 이 좌표값들이 여러 개가 모여 하나의 도형을 이루고 거기에 색이 입혀지거나 텍스쳐가 매핑되어진다. CoordIndex의 뒤 부분의 숫자들은 위에서 나온 좌표값들의 순서를 배열한다. 예로 36, 39, 100, -1, 이라면 Coordinate3{ 에서 시작해서 36번째 39번째 100번째의 점들이 이루는 삼각형이란 뜻이고 -1은 도형의 끝을 나타낸다. 102, 100, 39, 40, -1,의 경우는 102번째 100번째 39번째 40번째의 좌표축으로 이루어지는 사각형을 나타낸다. 이 좌표값들의 개수에 따라서 각 도형의 모양이 결정된다.

표 1은 VRML 코드의 예이다. 각 사용된 명령어를 설명해 보면 glBegin은 gl의 시작 부분이고 괄호 안에 있는 명령어는 아래의 glVertex3d로 나타난 좌표들을 어떤 방법으로 도형을 만들 것인지 설정하는 부분이고 glColor3ub는 도형의 색을 지정할 수 있는 부분이다. 마지막으로 glEnd(); 하나의 gl 의 끝을 나타낸다. 폴리곤은 오로지 삼각형으로 이루어진다. VRML은 자동적으로 좌표 점이 다섯 개로 뭉쳐지면 오각형, 세 개로 뭉쳐지면 삼각형으로 이루어지지만 OpenGL에서는 수동으로 지정해 주어야 하기 때문에 이런 오류를 줄이기 위해서 그림 3에서 보여지는 GL_TRIANGLE_FAN 이란 명령어를 사용했다.

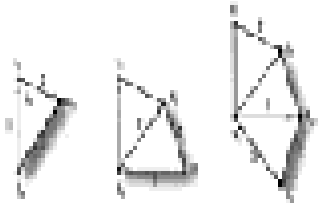

Fig 3. GL_TRIANGL_FAN

Table 1. VRML의 예

```
#VRML V1.0 ascii
Separator {
#     SHELL
      Separator {
            Material
            {
            diffuseColor 1.0 0.52 0.44
                  shininess 0.9
            }
            Coordinate3 {
                  point [
            -6.172306 11.849350 4.035336,
            -6.599518 11.569400 4.171014,
            -6.752495 10.951670 4.347103,
            -4.680820 11.862810 3.833953,
            6.564814 6.679878 0.955773,
            6.479429 6.653419 1.239699,
                  ]
            }
            IndexedFaceSet {
                  coordIndex [
                    100, 101, 33, 36, -1,
                    100, 3687, 3688, 101, -1,
                    32, 33, 101, 115, -1,
                    36, 39, 100, -1,
                    102, 100, 39, 40, -1,
```

이것은 그림에서 보는 것과 같이 중앙 점에서 시작하여 둘러 쌓인 삼각형을 형성해 가는 것이다. 사각형은 삼각형 두개 오각형은 삼각형 세 개로 구성되어진다. 각 점들은 시계 방향으로 연결되면서 하나의 삼각형으로 형성된다. 그림 4와 5는 이와같은 방법으로 구성된 심장의 와이어 프레임이다.

3. 데이터 표현

다음으로 모든 폴리곤이 전극의 위치에 대응되는 것이 아니기 때문에 실제의 전극 위치에 대응되는 폴리곤을 선정해야 한다. 이 작업은 각 전극의 위치를 폴리곤에 대응 시켜보아서 적정 위치를 선정하여 각 채널을 표시하도록 하였다. 그림 6은 anterior 위치에서 35개의 전극과 posterior 위치에서 29개의 전극을 합하여 총 64개 채널을 표시하였다. 또한 여분으로 128개의 채널을 그리도록 폴리곤을 남겨두었다. 그림 6은 각 전극이 대응되는 폴리곤마다 색을 지정한 그림이다.

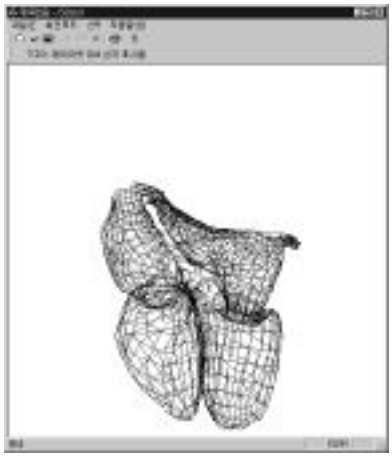

Fig 4. 우심방,우심실,좌심방,좌심실 와이어프레임(wireframe)

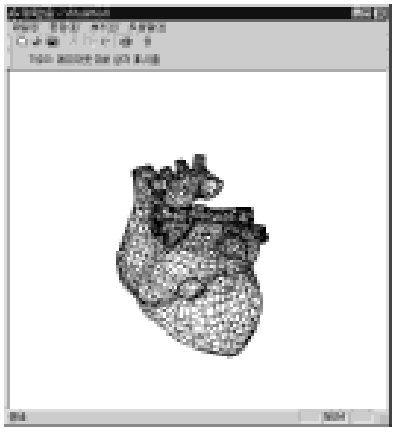

Fig 5. 제작된 가상 심장의 와이어프레임

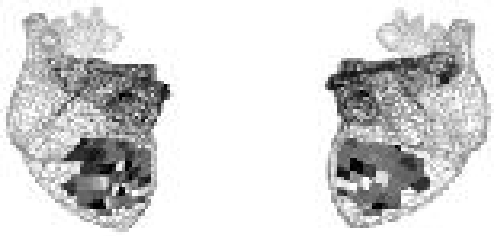

Fig 6. 전극과 심장와이어프레임 사이의 매핑 위치

본 프로그램에서는 지연시간이 가까우면 검정색에 가깝고 지연시간이 클수록 밝은 하얀색이 되도록 하는 명암 기법과 지연시간이 가까우면 빨간색에서 지연시간이 클수록 보라색에 가까워지는 gray level과 color level을 선택할 수 있도록 하였다. 지연시간이 계산이 안 되는 부분은 0값을 대입하여 검은색으로 표시되게 하였고 각 채널별로 지연시간과 에러를 직접 표시하여 구분할 수 있도록 하였다. 두 번째로 계

산된 지연시간을 컬러로 변형하였다. gray level 의 표현 방법보다 복잡하지만, 시각적으로 차이가 확연히 구분이 가능하기 때문에 대부분의 데이터 시각화(data visualization)에서 사용되는 방법이다. 계산된 시간 지연의 값에 따라서 특정한 범위에 포함되는 값에 대하여 두 색을 고정시키고 나머지 한가지 색을 증감 시켜서 빨간색부터 보라색까지 변화시켜서 표현하도록 하였다. 여기서 데이터가 입력되지 않는 부분의 처리는 Gray level과는 다르게 주변의 값으로 선형 보간법을 이용하여 표현하였다. OpenGL에서는 각 버텍스(Vertex)에 대해서 값을 지정할 경우 폴리곤의 중간 값은 보간을 하기 때문에 다른 연산이 필요 없이 간단히 표현된다. 그림 7는 전체적인 프로그램 인터페이스의 화면을 보여주며 그림 8의 (a)와 (b)는 매핑된 모습을 보여준다.

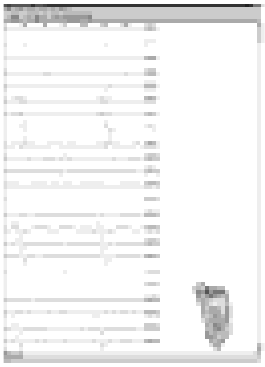

Fig 7. 프로그램 인터페이스

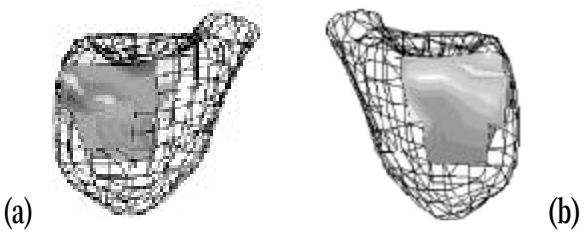

Fig 8. 데이터 매핑

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 3차원 모델을 도입하여 심장 활성 데이터를 표현함으로써 심장 기전 연구 및 심장 수술시 부정맥의 원인이 되는 우회로의 위치를 찾는데 필요한 효율적이고 저렴한 128채널 3차원 심장전기도 시스템의 사용자 인터페이스 소프트웨어를 개발하였다. 데이터를 효율적으로 표현하기 위해 DirectX와 OpenGL을 도입하여 테이터 처리능력을 향상시켰으며, 128Mbyte 램을 가진 CPU팬티엄 III 450MHz의 PC에서도 데이터를 처리하는데 문제가 없었다.

본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 심장 전기전파 및 심장 부정맥의 자세하고 정확한 전기적 활동 상태를 쉽게 관찰할 수 있는 사용자 인터페이스가 용이한 소프트웨어를 개발하였다.

둘째, 다채널 ECG신호를 3차원 공간상에 매핑할 수 있는 소프트웨어를 개발함으로써 EMG, EEG등 또다른 생체신호에 적용도 가능할 수 있다.

셋째, 소프트웨어의 구성은 사용자 편의 위주로 언제든지 개선 가능하도록 하였으며 추후 보다 많은 채널을 사용할 수 있는 가능성을 남겨두었다.

향후, 많은 임상실험을 통하여 개발된 소프트웨어의 안정성 및 사용자 편리성에 대한 검증이 꼭 필요하리라 생각된다.

참고문헌

1. Cox JL, The status of surgery for cardiac arrhythmias. Circulation, 1985.
2. Cox JL: Intraoperative computerized mapping techniques, do they treat our patients better surgically in Brugada P, Wellens HJJ, eds. Cardiac arrhythmias, where to go from here, New york, Futura, 1987.
3. 장병철, 김남현, 정성헌, 라상원, 김성순, 조범구, "64채널 심장전기도 시스템 구현에 관한 연구", 의공학회지, 1995.
4. 한영오, "128채널 다기능 Cardiac Activation Mapping 하드웨어 및 고속 영상화 시스템 개발", 보건복지부 G7과제 연구보고서, 2000.
5. Bradley Bargen, Peter Donnelly, Inside DirectX, Microsoft Press, 1998.
6. 최성주, LabView 입문, 동일출판사, 1998.