

Intracardiac Signal의 스펙트럼 분석을 통한 Atrium Tachycardia 및 Fibrillation 검출

Detection of atrial tachycardia and fibrillation using spectrum analysis of intracardiac signal

신 항 식*, 이 충 근**, 김 진 권***, 주 영 민***, 이 명 호****

(Hang Sik Shin, Chungkeun Lee, Jin Kwon Kim, Young Min Joo, Myoung-ho Lee)

Abstract - Detection methods for atrial tachycardia and fibrillation on the time axis have the advantages of light operational load and are easy to apply to various applications. Despite these advantages, arrhythmia detection algorithm on the time axis cannot stand much noise such as motion artifacts, moreover the peak detection algorithm has high complexity. In this paper, we use a spectrum analysis method for the detection of atrial tachycardia and fibrillation. By applying spectrum analysis and digital filtering on obtained electrogram signals, we can diagnose heart arrhythmia without using peak detection algorithm.

Key Words : Atrial Tachycardia, Fibrillation, Implantable Cardioverter Defibrillator, Pacemaker

1. 서 론

서맥(Bradycardia)과 빈맥(Tachycardia), 세동(Fibrillation) 등으로 대표되는 심장의 비정상적 박동에 대한 치료법은 심부전의 원인에 따라 약물을 사용한 치료나 심장박동기(Pacemaker), 이식형 제세동기(ICD:implantable cardioverter defibrillator) 이식을 통한 치료로 나누어진다[1]. 일반적으로 부정맥의 원인이 심실의 위쪽에 존재하는 상심실성빈맥(SVT:supra ventricular tachycardia)인 경우에는 약물을 사용하여 치료가 가능하지만 그 이외의 빈맥이나 세동의 경우는 심장박동기나 이식형제세동기를 사용하여 심장의 부정맥을 제어하게 된다[2]. 일반적으로 현재의 심장박동기는 심방, 심실 양쪽에 전극을 삽입하여 심장내심전도(EGM:electrogram)을 측정하고 전기 자극을 주는 dual-chamber형태 까지 발전되어 있으며 EGM측정, 심장의 정상동작여부 판단, 전기자극의 과정을 거쳐 환자의 정상 심박동을 유도한다[3].

본 논문에서는 EGM 신호의 스펙트럼 분석을 통하여 심장의 정상동작 여부에 대한 판정을 내리는 진단알고리즘을 제안한다. 현재 여러 상용화된 심장 박동기는 EGM 신호의 최대점 관측(Peak detection)을 통한 각 최대점간의 시간간격의 변화를 측정하여 심장이상을 판별하는 진단 알고리즘을 사용하고 있다. 하지만, 기존의 방법은 동잡음 등의 노이즈가 섞인 경우 최대점 검출에 오류가 발생할 가능성이 높고 진단을 내리기까지의 처리과정이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 이에 비해, 스펙트럼 분석을 통한 진단 알고리즘은 스펙트럼

분석의 특성상 노이즈를 쉽게 분리해 낼 수 있고 최대점 검출을 수행하지 않으므로 진단 알고리즘을 간략화 할 수 있다.

2. Spectrum 분석 알고리즘

2.1 전처리과정

효율적인 스펙트럼 분석을 위해서는 획득된 EGM신호에 대한 전처리 과정을 거쳐야 한다. 전처리 과정은 1)-5)의 필터를 사용하여 구성하였고 각 필터의 특성은 다음과 같다.

- 1) 대역통과필터(BPF:band pass filter)
Pass band : 6 Hz ~ 150 Hz
Filter Order : 100
Filter type : FIR(Finite Impulse Response)
- 2) 이동평균필터(Moving Average Integrator)
Point : (sampling frequency)/100
- 3) CIC(Cascade Integrator Comb) filter[4]
Stage : 2
LPF order : 6
HPF order : 8
- 4) 이동평균필터
Point : (sampling frequency)/20
- 5) 저역통과필터(LPF:Low pass filter)
Pass band : 0 Hz ~ 10 Hz
Filter Order : 50
Filter type : FIR(Finite Impulse Response)

2.2 Parametric analysis

스펙트럼 분석을 위해서는 필터링을 거친 신호에 대하여 시주파수 분석을 수행하여야 한다. 시주파수 분석은 hanning

저자 소개

*延世大學 電氣電子工學科 博士課程

E-mail : glority@yonsei.ac.kr

**延世大學 電氣電子工學科 博士課程

***延世大學 電氣電子工學科 碩士課程

****延世大學 電氣電子工學科 教授·工博

windowing 후 35차의 AR(Auto Regressive) model을 사용하였다. 스펙트럼 분석은 이전 5초간의 신호를 가지고 1초마다 1회 수행하였다.

2.3 Decision algorithm

빈맥이나 세동의 판정을 위한 진단 알고리즘은 그림 1과 같다. AR model을 사용하여 주파수 대역을 구하고 정상, 빈맥, 세동에 해당하는 주파수 대역의 파워 P_N, P_T, P_F 를 구한다. 이후 각각의 스펙트럼 파워를 다른 성분의 파워의 합과 비교하여 최대값을 가지는 것을 심장의 상태로 판단하게 된다.

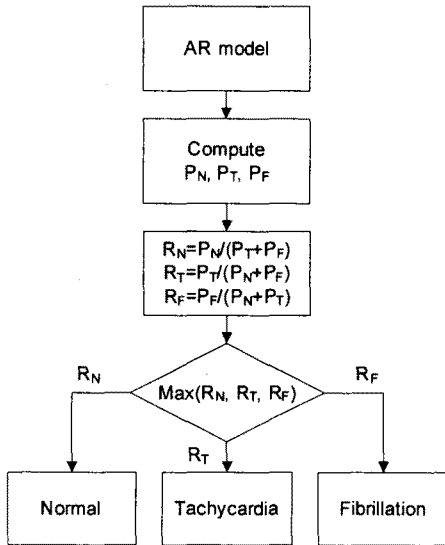


그림 1 스펙트럼 분석을 사용한 진단 알고리즘
Fig. 1 Diagnosis algorithm using spectrum analysis

3. 시뮬레이션 및 결과분석

3.1 EGM 획득 및 시뮬레이션

EGM 신호를 획득하기 위하여 중량이 30 Kg인 개의 하지 정맥을 통하여 우심방으로 리드를 삽입하였다. 신호의 측정에는 BIOPAC MP150을 사용하였고(Gain : 1000), STM100C 모듈을 사용하여 전기자극을 발생 시켰다. 초기 필터단에서는 0.05~35 Hz 대역의 필터를 사용하여 신호를 획득하였다. 리드는 4개의 전극을 가지는 EP catheter를 사용하였는데, 각각 2개씩의 전극을 할당하여 전기자극과 신호 측정을 동시에 수행하였다. 실험에서는 30초 동안의 전기자극을 10회 반복 수행함으로써 심장의 부정맥을 유발 하였다. 전기자극은 0.5 ms의 duration을 가지는 3V unipolar 신호를 사용 하였다. 그림 2는 획득한 EGM신호로 심방세동에서 회복되어 가는 과정을 측정할 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 대략 80초 부근에서 회복이 일어나게 된다.

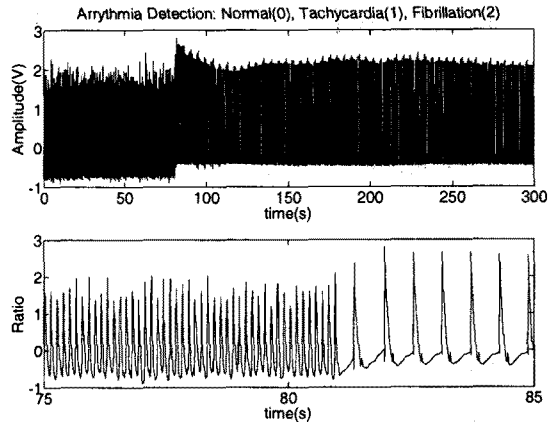


그림 2 심방세동 및 정상 상태의 EGM신호
Fig. 2 EGM signal of atrial fibrillation and normal condition

3.2 Parametric analysis 결과

획득한 EGM신호에 대한 시간-스펙트럼 분석 결과는 그림 3과 같다. 그림에서부터 심방세동을 나타내는 0~80초 구간과 정상상태를 나타내는 80초 이후 스펙트럼이 가지는 주파수대역이 다른 것을 확인 할 수 있다. 반복적인 실험을 통하여 결정된 각 상태에 따른 심방 신호의 주파수 범위는 정상상태일 때 $f_N=0.05 \sim 3.5 Hz$, 빈맥일 때 $f_T=3.5 \sim 7 Hz$, 심방세동일 때 $f_F=7 \sim 10 Hz$ 이다.

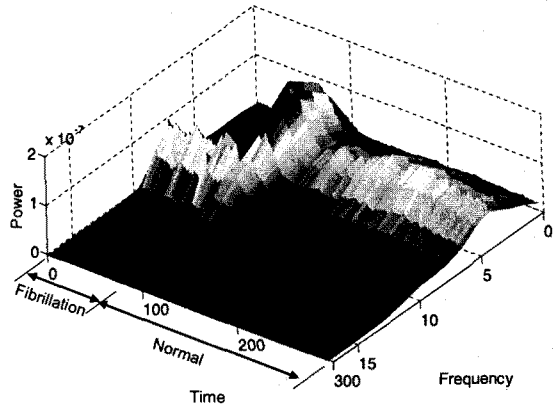


그림 3 심방세동-정상상태의 EGM 스펙트럼 분석
Fig. 3 EGM spectrum analysis of atrial fibrillation and normal condition

3.3 Decision algorithm 적용

스펙트럼 분석을 통하여 획득한 주파수 영역에 대한 파워를 구하고 수식(1)~(3)에 따라 정상, 빈맥, 세동 각각의 상태를 전체 파워와 비교한 비율을 구한다.

$$R_N = P_N / (P_T + P_F) \quad (1)$$

$$R_T = P_T / (P_N + P_F) \quad (2)$$

$$R_F = P_F / (P_T + P_N) \quad (3)$$

본 연구에서는 R값을 비교하여 R_N 이 최대인 경우에는 정상상태, R_T 가 최대인 경우에는 빈맥, R_F 가 최대인 경우에는 세동으로 평가하고 각각 0, 1, 2로 맵핑하여 나타내었다. 그림 4에서는 앞 질에서 획득한 신호에 스펙트럼 분석을 통한 decision algorithm을 적용한 결과이다. 그림에서 확인 할 수 있는 것과 같이 심방세동이 발생한 구간 내에서는 decision 값이 2에, 정상상태의 심박동 신호에 대해서는 0에 맵핑되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

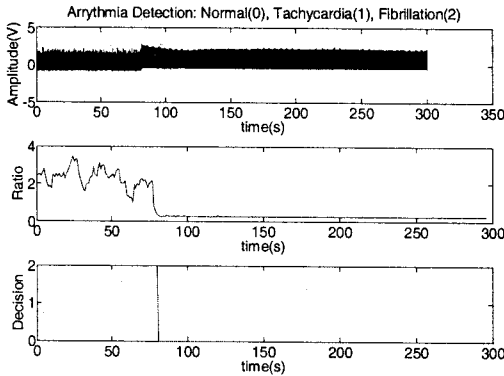


그림 4 스펙트럼 분석을 통한 EGM 신호진단결과(1)
Fig. 4 EGM diagnosis result using spectrum analysis(1)

그림 5는 정상신호와 빈맥, 심방세동 신호가 모두 포함된 신호에 대한 알고리즘 적용 결과이다. 그림과 같이 각각의 상태를 올바르게 진단하고 있음을 확인 할 수 있다.

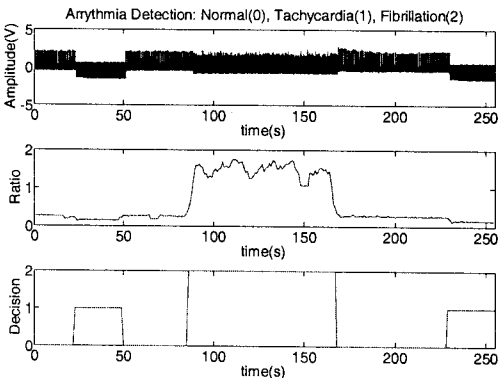


그림 5 스펙트럼 분석을 통한 EGM 신호진단결과(2)
Fig. 5 EGM diagnosis result using spectrum analysis(2)

3.4 스펙트럼 분석법의 시간지연

심장박동기의 진단 알고리즘에서 가장 중요한 사항중의 하나는 심장이상 발생 후 얼마나 빠르게 심장의 이상을 감지할 수 있는가이다. 따라서 진단알고리즘의 시간지연은 알고리즘

을 실제 적용하는데 있어 매우 중요한 요소가 된다[4]. 그림 6은 본 연구에서 개발한 알고리즘의 시간 지연을 나타내고 있는데 대략 1초 내외의 시간적 변화가 발생함을 알 수 있다.

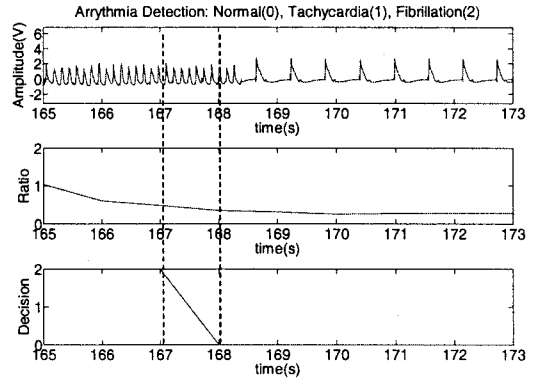


그림 6 제안하는 알고리즘의 시간지연
Fig. 6 Time-delay of the proposed algorithm

결론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 노이즈에 강인하고 진단이 간단하다는 장점이 있지만, AR model에 의한 parametric analysis를 수행해야 하기 때문에 연산량이 많다는 단점이 있다. 또한 EGM은 전극의 부착 위치, 센서의 종류에 따라 특성이 변화할 수 있으므로 다양한 EGM 샘플에 대한 추가 연구가 반드시 이루어져야만 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 정보통신부 정보통신 선도기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.(과제 번호 : A1100-0501-0028)

참고 문헌

- [1] Mohammad H. Asgarian, "Design of Cardiac Pacemakers - Artificial Pacing", IEEE, p.111~128, 1995
- [1] Jose L. Rojo-Alvarez, Angel Arenal-Maiz, Antonio Artes-Rodriguez, "Discriminating Between Supraventricular and Ventricular Tachycardias from EGM Onset Analysis", IEEE January/February 2002
- [1] Janice M. Jenkins, Stephanie A. Caswell, "Detection Algorithms in Implantable Cardioverter Defibrillators", IEEE, 1996
- [1] U Achleitener, et al, " waveform of external defibrillators: analysis and energy contribution, Resuscitation, vol. 41, pp. 193-200, 1999.
- [1] T. Kokama, S. Nakamura, H. Hoshino, "An efficient RR interval detection ECG monitoring system", IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E82-D, no. 10, pp. 1425-1432, Oct., 1999.