

카오스-심전도 분석기의 설계 및 응용에 관한 연구

이 병 채, 이 명 호
연세대학교 전기공학과

(A Study on Design of a Chaos-ECG Analyzer and its Applications)

Byungchae Lee and Myoungcho Lee

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

Seoul, 120-749 Korea

Abstract

This paper describes a Chaos analyzer and its applications to characteristic analysis of ECG signals and the other signals. We can detect chaotic system among the various system by quantitative and qualitative analysis using the proposed system. And we also propose a new possibility to recognize abnormal state of ECG signal using the chaotic characteristics of signal.

1. 서론

카오스 이론은 결정론적 시스템에서도 비결정론적인 해가 나올 수 있다는 것으로, 고전적인, 시스템 이론에 새로운 혁명으로서, 최근에 카오스 이론이 복잡한 시스템의 분석 및 예측에 응용될 수 있다는 가능성이 대두 되면서 물리학, 수학분야 뿐만 아니라 공학에서도 다양한 응용연구가 진행되고 있다. 생체 시스템, 즉 심장에서 측정되는 전기적 신호인 심전도는 외관상 주기적이거나 어느 범위내에서 다양한 변화를 보이는데 이러한 변화가 외부 잡음의 영향인지 또는 생체 시스템의 비선형적인 특성인가의 의문에서 출발하여, 일부 모델링의 단계에 이르고 있으나, 아직까지는 많은 연구의 여지가 남아 있다.

심전도와 같은 생체 시스템의 동력학적 특성을 이용하여 심장마비를 예측하거나, 페이스메이커가 안전하게 제어되며, 환자의 현재 심장 기능 상태를 파악할 수 있게 되는 등, 그동안 확률적 통계에 의존 하였던 외관상 불규칙하게 보이던 카오스 시스템을 어느정도 제어할 수 있게 되는 것이다.

본 논문에서는 이러한 카오스 이론을 연구하고 실제 생체 신호 분석용 도구로서 사용하기 위한 카오스-심전도 분석기(Chaos-ECG Analyzer)를 설명하였으며, 이를 이용하여 입력된 생체 신호가 카오스 신호임을 입증하고, 심전도 신호의 카오스적 특성을 분석함으로써 패턴인식등 진단의 가능성을 알아 보 고자 한다.

2. 카오스 분석기의 설계

다음 그림 1 에는 본 논문에서 구축한 카오스-심전도 분석기의 구성을 나타 내었다. 신호입력장치로부터 얻은 여러종류의 시계열 데이터들을 직접 A/D 변환하여 작업하거나, 데이터 파일로 저장할 수 있도록 하였다.

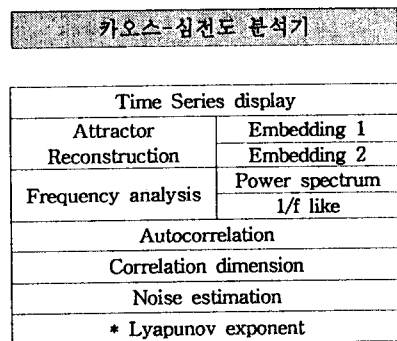


그림 1. 카오스-심전도 분석기의 구성도
Fig. 1 Block diagram of Chaos-Analyzer

생체 신호, 특히 심전도 신호의 비선형적 특성을 분석하기 위해 카오스-심전도 분석기를 구축하였다. 이를 통해 카오스적 특성을 추출하며, 장기적

으로는 심장질환의 진단 및 심장 상태의 예측을 위한 기초 정보를 획득할 수 있다.

본 논문에서 설계한 카오스-심전도의 분석기는 심전도 신호의 획득, 시간축 데이터, 바라보는 시각의 변환이 가능한 2차원, 3차원 위상평면도에 의한 어트랙터의 재구성, 주파수 스펙트럼 분석, $1/f$ 스펙트럼, 자기상관계수를 통한 정성적 분석 및 상관차원(correlation dimension) 과 같은 정량적 분석 정보를 한 화면에서 편리하게 얻을 수 있도록 하는 시스템으로써, 시스템이 카오스 시스템인지를 구분해 낼뿐 아니라 시스템의 카오스적인 특성 정보를 추출할 수 있는 유용한 도구이다. 본 분석기는 카오스 이론 연구와 여러 응용분야 연구에 필수적인 도구로서 사용될 수 있다. 카오스-심전도 분석기의 일부 사용예를 그림 2에 나타 내었다.

2.1 위상평면도(어트랙터의 재구성)

동력학 시스템에서의 시스템 해석은 상태공간(state space) 개념을 도입하여 시스템의 동적 특성을 해석한다. 시스템의 초기 조건이 주어지면 천이 상태와 안정상태의 해를 얻을 수 있게 된다. 시스템의 안정 상태가 유한하면, 시스템의 상태가 매 순간에 상태 공간위의 점으로 표현되며 특정한 형태를 갖게 된다.

안정된 시스템은이 고정점을 향해 궤적을 그리며 고정점에서 안정되게 된다. 주기적 신호는 완전한 폐곡선을 그리고, 여러개의 주기를 갖는 시스템은 물통모양의 궤적을 그리게 되며,카오스 시스템인 경우에는 이외의 특수한 모양을 띄게 된다. 궤적의 모양은 시스템이 이러한 궤적을 그리도록 하는 어트

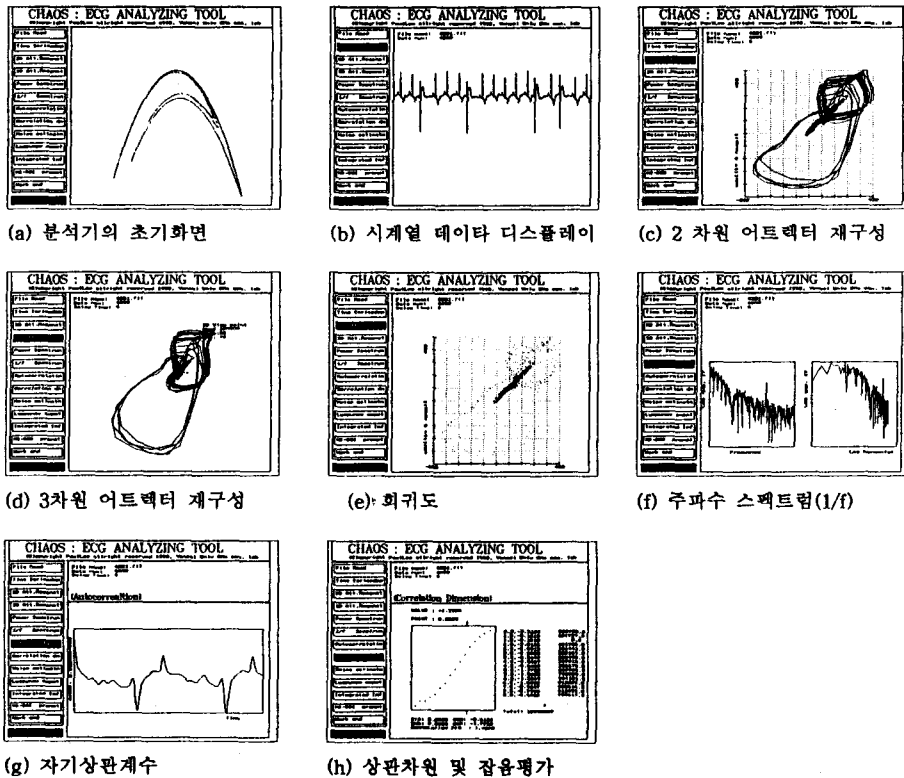


그림 2 카오스 분석기를 이용한 특성 해석의 예
Fig.2 Examples of Characteristic analysis using Chaos-ECG Analyzer

랙터의 영향 때문이다.

어트랙터는 시스템이나 방정식을 최종상태로 이끌려는 경향때문에 붙여진 이름으로, 평형점 (equilibrium point), 폐곡선(limit cycle), 몸통모양 (torus, tori) 등의 어트랙터는 예측가능한 시스템이며, 카오스 시스템의 어트랙터는 한정된 공간내에서 특수한 모양을 갖고, 잡음과는 구분된다.

본 논문에서 구축한 분석기는 2차원 및 시간 변환 가능한 3차원 공간에서의 어트랙터를 표현하도록 하여 다양한 측면을 해석 가능 하도록 하였다.

2.2 정성적 분석

카오스 신호는 넓은 영역의 주파수 특성을 보이며, $1/f$ 로 표현한 스펙트럼의 기울기를 통해 카오스적인 특성을 발견한다. 또한 자기상관계수 (autocorrelation)는 카오스 신호인 경우, 초기값에서 멀어짐에 따라 점진적으로 줄어드는 특성을 보인다.

2.3 정량적 분석

인간의 직관적 판단에 의존하는 정성적인 분석과는 달리 카오스 시스템을 정량적으로 분석하는 방법으로, 대표적인 것이 상관차원(correlation dimension)이다. 상관차원은 카오스 시스템의 자기유사성을 측정하는 척도로써, 심전도 신호와 같은 시계열 데이터를 실험 대상으로 삼는 경우 매우 편리하게 계산됨으로 가장 많이 이용하는 방법이다.

계산의 편의성을 위해 상관차원을 다음과 같이 정의 한다.

$$D_c = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln C(r)}{\ln(r)}$$

여기서 상관함은 다음과 같다.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} (\text{the number of pairs of points}$$

$$X_i, X_j, \text{ such that } |X_i - X_j| < r)$$

카오스 이론과 시스템의 동작 특성에 의하면 시스템의 안정상태 해와 차원과의 관계는 표 3.1 과 같이 요약할 수 있다.

3. 심전도 신호의 분석

본 논문에서는 미국심장학회(American Heart Association) 에서 구축한 부정맥 데이터 베이스(AHA arrhythmia database) 심전도 신호를 본 논

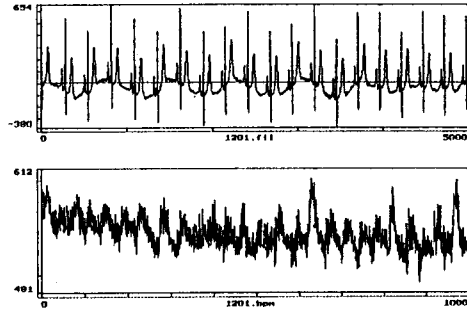
표 1 시스템의 안정상태 해와 차원과의 관계
Table 1 The relationship between the steady state of a system and its parameters

Steady-state of a system	Dimension
equilibrium point	0
1-periodic	1
k-periodic	k
chaotic	noninteger

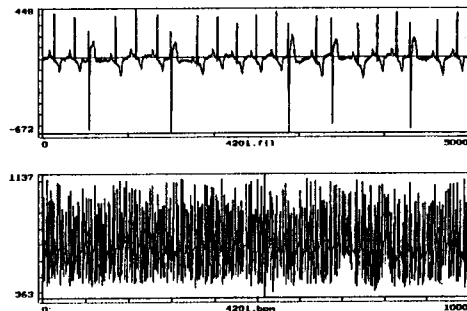
문에서 제안한 카오스-심전도 분석기를 이용하여 비선형적 특성을 분석함으로써 심전도 신호가 카오스 신호임을 확인 하고 이의 특성을 이용하여 진단의 가능성이 있음을 보였다.

부정맥 데이터 베이스의 데이터를 크게 정상파형과 비정상파형으로 나누고 심전도 신호 자체와 심박수의 변화율, 두 가지의 데이터를 입력 신호로 하였다. 그림 3에 입력신호로 사용된 데이터의 심전도 시계열 데이터 및 심박수 데이터를 나타내었다.

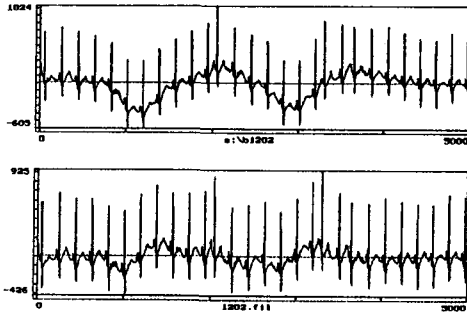
그림 4 는 그림 3 의 데이터의 어트랙터를 재구성한 것이다.



(a) 정상심전도와 이 신호의 심박수 파형

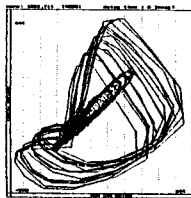


(b) 비정상 심전도와 심박수 파형

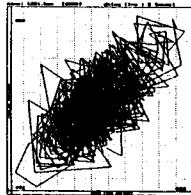


(c) 전처리 전, 후의 파형

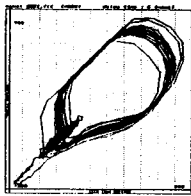
그림 3. 사용된 심전도 신호와 심박수
Fig 3. Various ECG signal and its heart rate series



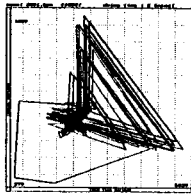
(a) 정상심전도



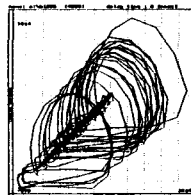
(b) 정상심박수 파형



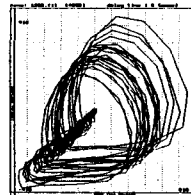
(c) 부정맥 있는 경우



(d) 부정맥 심박수 파형



(e) 전처리 전의 파형



(f) 전처리후의 파형

그림 4. 어트랙터의 재구성
Fig. 4 Attractor reconstruction

4. 결론 및 토의

본 논문에서 설계한 카오스-심전도 분석기를 이용하여 AHA 부정맥 데이터 베이스의 심전도 신호의 비선형적 특성을 해석한 결과 다음과 같은 일차적인 결론을 얻었다.

1) 본 논문에서 설계한 카오스-심전도 분석기는 심전도뿐만 아니라 일반 이론연구 및 응용연구에 유용하게 사용될 수 있는 효율성을 보였다.

2) 심전도 신호 및 이의 심박수 변화율 신호는 정량적,정성적 분석을 통해 카오스 신호임을 확인 하였다.

3) 심전도 신호의 분석시에 기저선 변동은 시스템의 동태해석에 많은 영향을 주므로 전처리 과정이 필요하다.

4) 심전도 신호에서의 비선형적 특성은 부정맥과 정상심전도 사이에 커다란 차이를 보이지 않으나 이의 심박수 변화율에 있어서는 상관차원이 정상인 경우 1.59, 비정상인 경우 0.58 내외로, 뚜렷한 차이를 나타내므로 이러한 특성을 이용하여 패턴 인식등의 진단으로의 응용 가능성이 있음을 확인 하였다.

카오스 이론의 응용연구는 많은 연구과제가 산적해 있다. 정량적, 정성적 정보 추출의 실시간화와 robust 알고리즘의 개발 연구 및 추출된 정보의 정확한 해석방법등의 연구는 우선적으로 해결되어야 할 문제들이다.

참고문헌

- (1) T.S. Parker and L.O. Chua, "Chaos : A Tutorial for Engineers.", Proc. IEEE, vol.75, no.8,pp.982-1008, Aug., 1987.
- (2) J.P. Crutchfield, et.al "Chaos", Scientific American, pp.38-49
- (3) J.P. Eckmann, "Ergodic theory of Chaos and Strange attractors", Review of Modern Physics, vol.57,no3,Part I, pp. 617-656,1985
- (4) Ary L. Goldberger, "Fractal Mechanisms in the Electrophysiology of the Heart", IEEE Eng. in Medicine and Biology Magazine, pp.47-52, Jun,1992
- (5) T.A.Denton, et.al, "Fascinating Rhythm: A Primer on Chaos Theory and its Application to Cardiology", Am.HeartJour.no.6, pp.1419-1440,1990
- (6) Hao Bai-Lin, Chaos II, World scientific pub.
- (7) A. Babloyantz et.al, "Is the normal heart a periodic oscillator?", pp203-211, Biol. Cybern. no.58, 1988
- (8) Peter Grassberger, "Characterization of Strange Attractors ", Physical Review Letters, vol. 50, no.5, pp.346-349, Jan.,1983
- (9) D.R. Chialvo and Jose Jalife, "Non-linear Dynamics of cardiac excitation and impulse Propagation", Nature, vol.330, pp.749-752,1987
- (10) S.J. Evans et al, "Is Ventricular Fibrillation Random or Chaotic?", Circulation, vol.80, no.4, P.II-134, 1989
- (11) 왕보현, 이기학, 이병재, "Chaos Simulator : 생체신호 분석에의 응용", pp.101-105, Proceedings of JCEANF, 1993.