

## 카오스 시뮬레이터의 개발

김응수, 이유정, 조덕연  
 선문대학교 지능정보처리연구실, 전자정보통신공학부  
 충남 아산시 탕정면 갈산리 100

### The Development of Chaos Simulator: E-mail:

Eung-Soo Kim, You-Jung Lee Duk-Yun Cho  
 Sunmoon University, IIP Lab.  
 Division of Electronic & Information, Communication Eng

### 개요

본 논문에서는 비선형 시계열 신호처리 및 분석을 위한 카오스 시뮬레이터에 대해서 소개한다. 이 시뮬레이터는 크게 세 개의 모듈로 이루어져 있으며 신호발생 모듈, 신호처리 모듈, 신호분석 모듈로 나누어진다. 이 카오스 시뮬레이터를 이용한 비선형 시계열 신호분석 결과 각각의 파라미터에 따른 신호분석이 가능함을 알 수 있었다.

#### 1. 서론

최근 들어 발전하고 있는 카오스나 비선형 동역학 이론은 퍼지, 뉴럴 네트워크 등과 더불어 폭 넓은 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 이에 따라 비선형 동역학 분야의 장비(software)에 대한 개발도 활발히 이루어지고 있지만 대부분이 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 장비는 고가 일뿐만 아니라 연구목적에 맞게 적절히 구성되어야 하지만 수입이나 테스트용의 장비로는 이러한 요구를 만족시키기 어렵다. 따라서 빠른 시일 내에 국내 개발이 필요한 부분이다. 우리가 개발한 카오스 시뮬레이터는 일반적인 모든 비선형 시계열 신호에 대한 처리가 가능하며, 신호의 특성에 맞는 파라미터의 선택을 통해 비선형 시계열 신호의 특징들을 분석해 낼 수 있다. 본 시뮬레이터는 비선형 동역학의 여러 많은 분야의 시계열 신호분석에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

#### 2. 카오스 시뮬레이터의 구성

그림1에서 그 구조를 알 수 있듯이 카오스 시뮬레이터는 크게 신호발생 모듈, 신호처리 모듈, 신호분석 모듈의 세 부분으로 이루어져 있다. 카오스 시뮬레이터는 PC의 윈도우 환경하에서 Visual C++로 개발되었으며 사용자가 편리하도록 그래픽 인터페이스를 제공한다. 또한 계속적으로 프로그램을 수정, 보완하기 위하여 소스를 체계적으로 모듈화하였다.

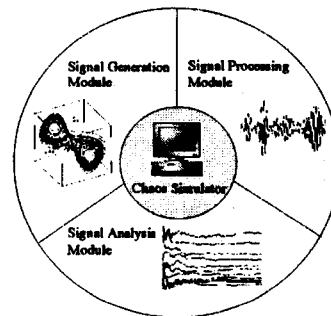


그림 1. 카오스 시뮬레이터의 구조

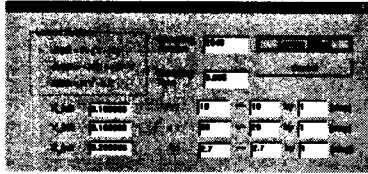
#### 2.1 카오스 신호발생 모듈

신호발생 모듈에서는 전형적인 카오스 신호로써 로렌즈(Lorenz)와 뢰슬러(Roessler) 신호를 발생시켜 이를 이용하여 카오스 시뮬레이터의 성능을 객관적으로 평가할 수 있게 하였다. 또한 파라미터 값을 각각 변화 시켜가면서 나타나는 여러 가지 특성을 볼 수도 있다. 그림 2는 로렌즈 신호를 발생시키는 다이얼로그 박스(a)와 발생시킨 로렌즈

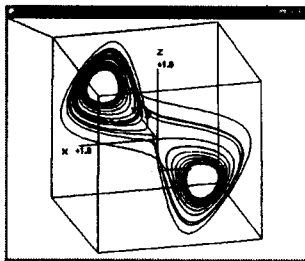
신호를 끌개(b)로 구현한 예이다.

### 2.2 신호처리 모듈

신호처리 모듈은 실제로 데이터 분석을 하기 전의 전처리 단계이다. 그림 3(a)에서 보듯이 시계열 데이터의 정규화, 필터링, surrogating, 잡음추가 등의 작업이 가능하다. 이런 작업을 통해 raw 데이터를 목적에 맞게 가공할 수 있다. 한 예로 그림3(b)는 임의의 raw 데이터의 뇌파 신호로부터 파(8~13Hz)를 추출한 결과를 보여준다.

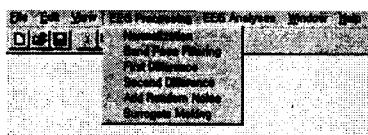


(a)

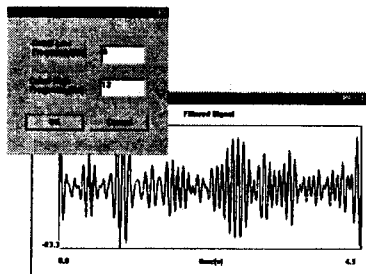


(b)

그림 2. 로렌즈 신호발생 다이얼로그 박스(a)와 끌개(b)구현 결과



(a)



(b)

그림 3. 신호처리 모듈 다이얼로그 박스(a)

와 밴드패스 필터링(b)의 결과

### 2.3 신호분석 모듈

신호분석 모듈은 스펙트럼 분석부, 위상 공간분석부, 상관분석부, 모드분석부로 나누어진다. 각각의 모듈에 포함된 파라미터의 특성에 따라 여러 가지 정보를 분석할 수 있다.

#### 스펙트럼 분석부

스펙트럼 분석부에서는 신호의 주파수 특성을 분석할 수 있는데 파워스펙트럼과 바이스펙트럼을 분석할 수 있다. 바이스펙트럼은 기존의 파워스펙트럼보다 한 차원 높은 분석 방법으로 독립적인 두 주파수간의 위상 상관성 (phase coupling) 현상을 볼 수 있다. 이러한 바이스펙트럼의 피크 값들이 주는 정보는 계의 구체적인 메커니즘을 이해하는데 도움이 된다.

#### 위상공간 분석부

이 부분은 그림 4와 같이 다섯 종류의 분석 파라미터로 이루어져 있다.

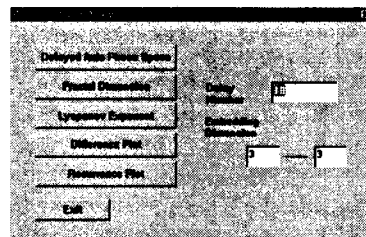


그림 4. 위상공간 분석부의 다이얼로그박스

첫번째 Delayed Axis Phase Space는 시계열 데이터를 위상공간 안에서 3차원 끌개 (attractor)로 구현해 준다. 두 번째 Fractal Dimension은 상관 차원(Correlation Dimension)이라고도 하며 복잡한 시스템에서 raw 데이터의 매립차원(Embedding Dimension)을 알고자 할 때 사용된다. 일반적으로 매립차원이 클수록 계를 기술하는데 필요한 변수가 많음을 의미하고, 같은 매립차원에서 구해진 상관차원이 클수록 독립 변수들의 상호 긴밀성이 크다. 세 번째로 발산지수(Lyapunov exponent)는 신호의 발산 특성을 규정하는 정량적인 양을 측정하는데 용이하다. 발산 지수의 값이 양이면 그 계는 초기 조건에 민감한 카오스계임이 확인되고, 발산지수의 값이 클수록 발산정도가 큼을 알

수 있다. 네 번째로 Difference plot는 계의 이차원 시간지연 그래프를 보여주고 마지막 Recurrent plot은 시계열에서 시간적으로 인접한 점들이 재구성된 위상공간에서도 근접 거리를 유지하는 정도와 주기적인 성질을 보여주는 이차원 그림이다. 이 이차원 그림에서 나타나는 선분의 굵기, 간격, 기울기 등에 의해 신호가 독특하게 특징 지워 질 수 있다. 그림 5은 위상공간 분석(Phase Space Analysis)에서 제공하는 파라미터에 의한 각각의 분석 예이다.

**상관 분석부**

이 부분에는 자기상관값(Autocorrelation), 2차상관값(Third correlation) 그리고 Mutual Information(MI)이 있다. 이 파라미터들은 모두 위상공간을 구현하기 위해서 알아야 하는 지연 시간(delay time)을 구하기 위한 파라미터이다. 그림 6은 상관 분석의 다이얼로그 박스와 MI 분석 결과이다.

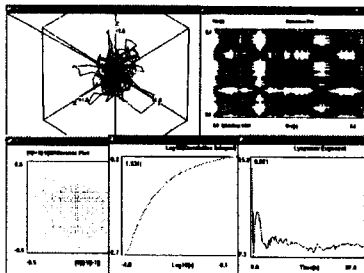


그림 5. 위상공간 분석의 결과들

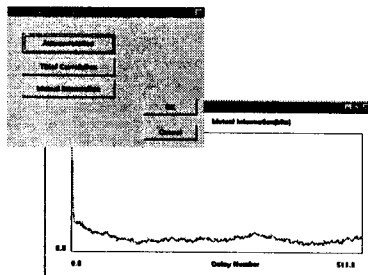


그림 6. 상관분석부의 분석 예

**모드 분석부**

선택한 데이터의 모드를 분석할 때 사용된다. 모드 분석부의 파라미터로는 주축분석(Principle Components Analysis: PCA)이

있다. 그림 7과 같이 다이얼로그 박스에 모드 개수와 지연 시간을 설정하면 선택된 모드 수 만큼 분해된 principle component들과 모드 벡터, 모드 기여도가 보여진다.

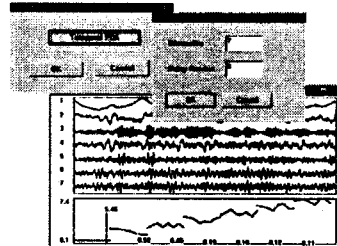


그림 7. 모드 분석부의 분석결과

**3. 검토 및 결론**

본 논문에서는 비선형 시계열 신호를 분석하기 위한 틀인 카오스 시뮬레이터에 대해 소개 하였다. 시뮬레이터는 신호발생, 신호처리 및 신호분석의 세 모듈들로 구성되어 있으며 각각의 기능을 잘 수행함을 확인하였으며, 이를 통하여 본 시뮬레이터가 카오스와 같은 비선형 시계열 신호를 분석하는데 유용하게 쓰일 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로는 비선형 동역학에 관한 최신 결과를 추가 함으로써 더욱 신빙성 있고 정확한 결과를 얻을 수 있는 방향으로 프로그램을 개선시켜 나갈 예정이다.

**감사의 글**

본 연구는 1998년도 대학기초연구의 지원을 받았다.

참고 문헌

- [1] 김용수, 조덕연, 이유정 “비선형 신호 해석 시뮬레이터의 개발”, 한국감성공학회, 춘계학술, pp.206-211, 1998
- [2] Kaihei Kuwata, Yuji Kajitani, Masahide Watanabe and Ryu Katayama, “Chaos simulator as a developing tool and a research environment for application of chaos engineering”, Journal of Network and computer Applications, pp.45-66, 1996
- [3] Ryu Katayama, Yuji Kajitani, Kaihei Kuwata and Yukiteru Nishidak, Developing tools and methods for application incorporating Neuro, Fuzzy, and Chaos technology, Computers ind. Engng, Vol.24, No.4, pp.579-592, 1993
- [4] R. Katayama, K. Kuwata, Y. Kajitani, M. Watanabe and Y. Nishida Dimension analysis of Chaotic time series using self generating neuro-fuzzy model, Proc. Of the Fifth IFSA Congress, Seoul, Korea, 842-847, 1993
- [5] I. Tsuda, T.Tahara and H. Iwanaga Chaotic pulsation in human capillary vessels and its dependence on mental and physical condition, Intl. J. Bifurcation and Chaos, 2, 313-326, 1992
- [6] D. S. Broomhead and R. Jones Time-series analysis, Proc. of Soc. Lond., A, 423, 103-121, 1989
- [7] 이병채 “카오스 이론을 이용한 생체 비선형 동역학 시스템의 특성 해석”, 연세대학교 대학원 전기공학과
- [8] 이호섭 “카오스 특징 추출에 의한 시계열 신호의 패턴인식”, 숭실대학교 전기공학과 석사학위논문, 1996
- [9] 社団法人 日本電子工業 振興協會, “バイオおよびカオス應用に関する 調査報告書”, Mar., 1995
- [10] 田原, “카오스에서生體機能をさぐる”, エレクトロニクス, Jan., 1993