

비선형 신호해석 시뮬레이터의 개발

김응수, 조덕연, 이유정
선문대학교 전자정보통신공학부
E-mail : eskim@omega.sunmoon.ac.kr

The Development of Simulator for the Non-linear Signal Analysis

Eung-Soo Kim, Duk-Yun Cho, You-Jung Lee
Dept. of Electronic & Information Communication Engineering
Sunmoon University
E-mail : eskim@omega.sunmoon.ac.kr

요약

본 논문에서는 복잡한 생체 전기신호 및 자연계에서 획득될 수 있는 각종의 비선형 신호들을 효율 좋게 분석할 수 있는 시뮬레이터의 개발에 대하여 지금까지 연구된 내용에 대하여 기술한다.

1. 서론

뇌 전체동작이라는 거시적 입장에서의 뇌기능 연구는 정보처리 원리의 이해를 통한 인간을 닮은 지능형 컴퓨터의 개발이라는 목적뿐만 아니라 삶의 질을 높이기 위한 첨단 의료 진단기술의 개발과도 깊은 관계를 가지고 있으며, 이는 생체신호의 측정방법, 신호처리 및 진단시스템의 개발 등을 목표로 활발히 연구되고 있다.

생체 전기신호의 분석방법으로는 주로 지금까지 선형 분석법 혹은 통계적 분석법을 이용하였으나, 뇌파와 같은 복잡한 시계열 데이터로부터 특징점을 발견하기란 극히 어려웠다. 이러한 이유로 최근에 각광 받기 시작

한 비선형 분석법 즉, 카오스 이론이 시계열 데이터의 분석에 적극적으로 활용되고 있으며, 카오스가 뇌의 정보처리에 어떠한 역할을 하는가에 대한 연구도 수행되고 있다. 또한 자연계에는 많은 복잡한 현상들이 존재한다. 이러한 복잡한 현상들은 비선형 특성을 나타냄으로써 그 특성을 이해하는데 어려움이 있었다. 최근 발달한 비선형 동역학 이론에 의하여 이러한 자연계에 내재하는 복잡한 현상들에 대한 비선형 특성을 실제적으로 규명하기 위한 많은 노력들이 경주되고 있다. 본 논문에서는 이러한 생체 전기신호 및 자연계에서 획득될 수 있는 각종의 비선형 신호들을 효율 좋게 분석할 수 있는 시뮬레이터의 개발에 대하여 지금까지 연구된 내용에 대하여 기술한다.

2. 비선형 동역학 이론의 도입

EEG 를 이용하여 뇌기능을 연구하고자 할 때 부딪히는 가장 심각하고 중요한 문제는 측정된 뇌 전위 신호가 너무나 무작위 하므

로 이 신호들로부터 “어떻게 유용한 정보를 추출하는가” 이다. 스토케스틱 신호로 간주되어, 통계적 혹은 선형적인 방법으로 분석되어온 EEG 신호를 처리하는 방법으로써 최근까지 선형분석법의 일종인 파워스펙트럼 (Power Spectrum)이 가장 흔하게 이용되었다. 그러나 이러한 선형분석법인 파워스펙트럼만으로는 다양한 뇌기능과 관련된 일관된 정보를 EEG로부터 추출하는데는 한계가 있었다.

컴퓨터의 발달과 함께 꾸준히 연구되어온 비선형 다이나믹스 이론은 선형 분석의 한계를 느끼던 EEG 연구자들 사이에 비선형 이론을 뇌기능 연구에 유용하게 적용하고자 하는 시도들이 나타나게 되었다. 이와 같이 EEG 신호의 비선형 분석은 기존의 파워스펙트럼이나 상관계수 등과 같은 선형 분석방법으로는 찾기 힘든 뇌 시스템의 신경전달 체계에 관한 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 비선형 신호해석 시뮬레이터

3.1 개요

뇌 전위의 비선형 신호처리를 위한 윈도우 프로그램의 개발환경은 Microsoft Visual C++을 사용하여 편리한 사용자 인터페이스를 지원하도록 구현하였다. 프로그램의 운영 부분은 파일 입출력 및 저장, 각 분석법에 적절한 그래픽 지원, 다양한 선형, 비선형 신호처리 및 분석 도구들, 각 분석에 대한 도움말기능 등으로 구성함으로써 통합 패키지 형태를 취하였다. 지속적인 프로그램의 수정, 보완 및 추가가 용이하도록 독립성이 뛰어난 객체 함수로 각 분석 도구들의 알고리즘을 구현함으로써 소스코드의 체계적인 모듈구조를 지향하였다. 프로그램은 크게 모의 데이터 발생부분, 신호처리 부분, 신호분석 부분, 결과 해석에 대한 도움말 부분으로 크게 구

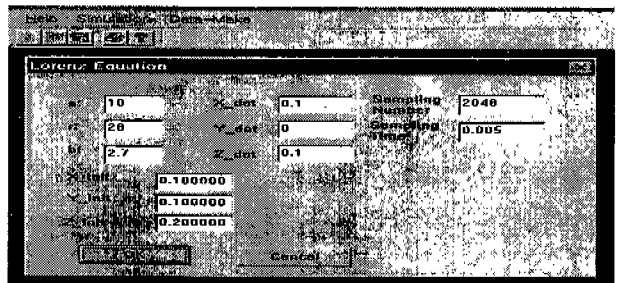
분하였다.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -ax + ay \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \end{aligned} \tag{1}$$



[그림 1] 카오스 신호를 생성하는 메뉴 바

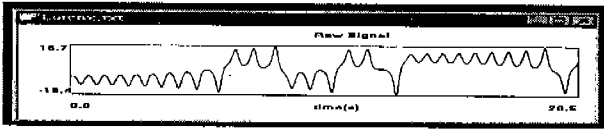
프로그램을 실행시키면 그림 1 과 같이 주 메뉴에 “Simulation” 이라는 항목이 있으며, 이 메뉴를 선택하면 그림 2 와 같이 로렌즈 방정식의 변수들을 사용자가 원하는 값으로 변경시키면서 Lorenz Chaos 를 구현할 수 있는 대화상자가 나타난다.



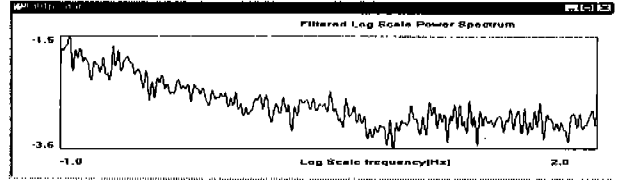
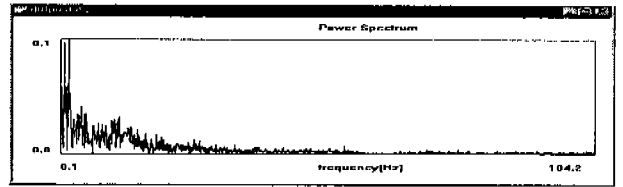
[그림 2] Lorenz Chaos 구현 대화상자 메뉴

대화 상자의 변수들을 지정한 후 OK 버튼을 누르면, 그림 3 과 같이 수치적으로 계산된 로렌즈 신호를 얻을 수 있다.

이 신호를 신호처리 부분에서 “Band Pass Filter”를 하거나, 신호분석 부분의 “파워 스펙트럼”을 보거나 혹은 “위상 공간”에서의 끌개구조 및 “자기상관” 정도를, 해당하는 메뉴항목을 선택함으로써 그림 4 와 같이 쉽게 조사할 수 있다.



[그림 3] Lorenz Chaos 신호



[그림 4] 파워스펙트럼 실행 메뉴바 및 처리 결과

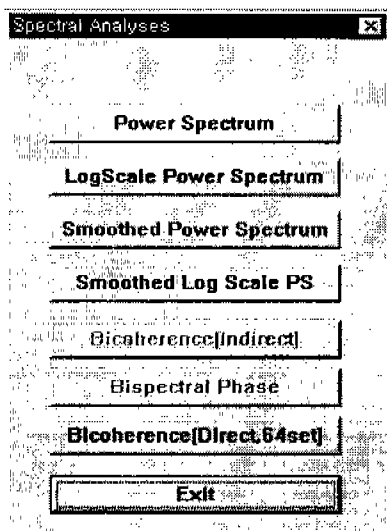
3.2 카오스 성질의 추출과 판정

모의로 발생시킨 데이터 뿐만 아니라 측정된 실험 데이터의 경우에도 같은 기능들을 수행할 수 있다. 실험에 의해 측정된 아스키 형태의 데이터 파일을 주메뉴의 “open” 항목을 선택하여 열면 데이터의 파형(waveform)이 그려진 새로운 화면(Child Frame)과 함께 신호처리를 위한 새로운 메뉴 항목들이 나타나도록 하였다.

3.3.1 파워 스펙트럼 (Power Spectrum)

시계열 신호에 명확한 주기성이 존재한다면 그것은 주기신호이며 카오스는 아니다. 카오스 판정의 기본은 먼저 스펙트럼 해석을 실시하는 것이며, 스펙트럼 해석에는 FFT (Fast Fourier Transform)를 이용한다.

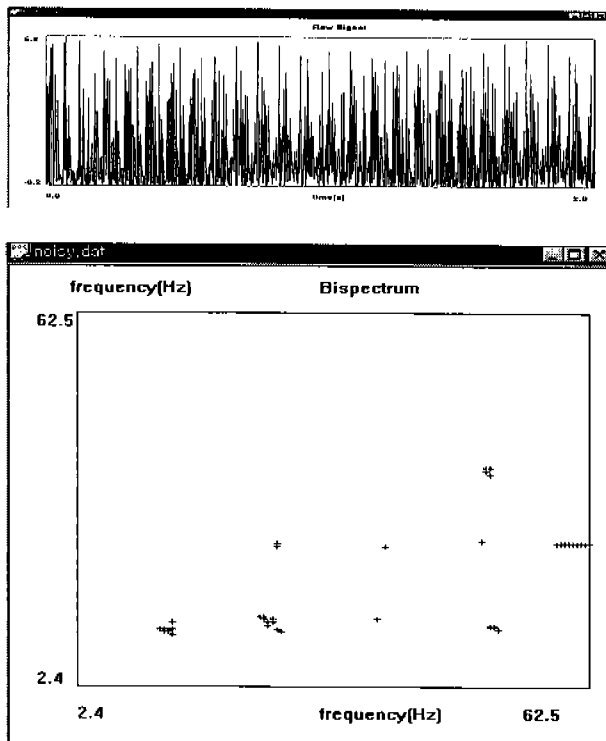
관찰된 시계열 신호로부터 파워 스펙트럼을 구하기 위한 과정을 그림 4에 나타낸다.



3.3.2 바이스펙트럼 (Bispectrum)

기존의 파워 스펙트럼에 비해 신호의 위상 정보까지 줄 수 있는 것이 한단계 더 높은 차원의 스펙트럼인 바이스펙트럼이다. 이는 하나의 주파수가 다른 하나의 주파수와 관련되어 새로운 제3의 주파수를 만드는 계의 특성을 반영해 준다. 즉 일률 스펙트럼이, 신호에 섞인 주파수 성분의 기여도를 크기에 반영하여 나타내어 주는데 비해, 바이스펙트럼은 어떠한 주파수 성분이 계 내에서의 독립적인 두 주파수의 관련성(quadratic coupling)에 의해 발생되었다는 위상정보를 보여준다. 따라서 특정한 주파수값이 독립적인 계의 단위에서 비롯되지 않고 어떠한 원리에 의해 발생되는지를 알려 줌으로써 신호를 발생시키는 계의 구체적인 메커니즘을 이해하는데 도움이 된다.

실제 적용 예는 다음 그림 5와 같다. 시계열 형태의 모의 데이터는 (12,12) (12,25), (25,25)의 주파수쌍이 제곱 커플링이 되도록 수식적으로 발생시킨 것이다. 바이스펙트럼 결과가 (12,12) (12,25), (25,25) 부분에서 높은 값을 지님으로써 본 분석 알고리즘이 잘 작동함을 확인하였다.



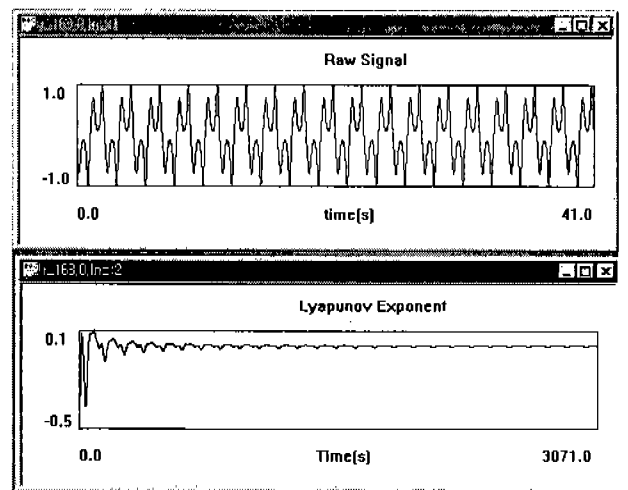
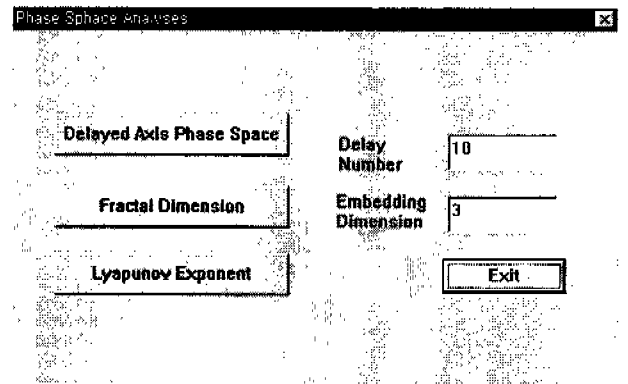
[그림 5] 바이스펙트럼 계산 결과

3.3.3 발산지수 (Largest Lyapunov exponent)

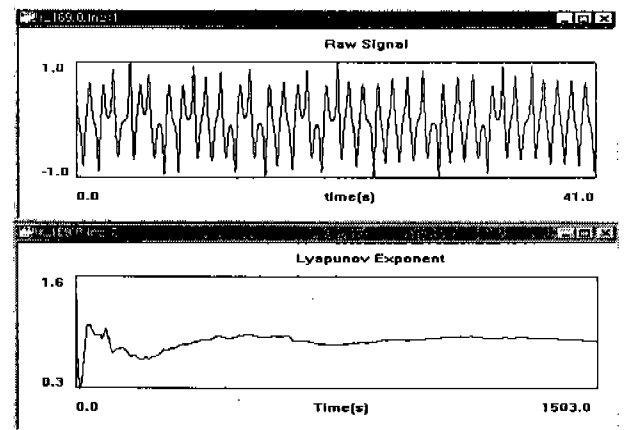
계의 상태는 위상공간의 한 점으로 대응되어져 시간이 지남에 따라 궤적을 형성하게 되는데. 카오스계인 경우 이 궤적은 초기값이 약간만 달라지더라도 달라지기 전의 궤적과는 매우 다른 궤적을 따라 움직이는 특징이 있다. 이때 위상공간에서 다른 초기 위치 사이의 작은 거리가 시간이 지남에 따라 얼마나 지수함수적으로 멀어지면서 발산하는지를 정량적으로 나타낼 수 있는데, 이를 이른바 발산지수라 한다. 계의 발산 지수값 중에 양의 값이 있으면, 그 계는 초기조건에 민감한 발산 특징을 지니는 카오스계임이 확인되는 셈이다.

다음 그림 6은 주기적인 신호와 카오스 신호를 로렌즈 방정식을 이용하여 모의적으로 만든 후 발산지수 값을 비교한 것이다. 분석

시에 다음과 같은 대화상자가 나타나며 이때 적절한 지연시간과 Embedding 차원을 설정해 주어야 한다.



(a) 주기적인 상태



(b) 카오스 상태

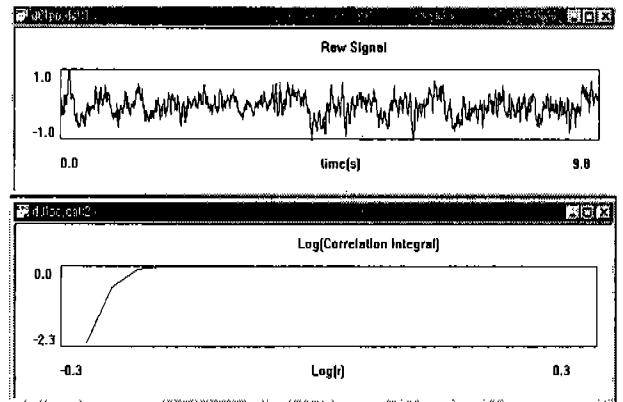
[그림 6] 발산지수를 계산하기 위한 메뉴 및 수행결과 (a), (b)

3.3.4 상관차원(Correlation Dimension)

계의 상태는 위상공간의 한 점으로 대응되어져 시간이 지남에 따라 궤적을 형성하는 많은 점이 찍히게 된다. 에르고딕 조건(ergodic condition)을 거의 만족시키는 충분히 많은 위상공간에 찍힌 점들로부터 임의의 한 중심에서 한면의 길이가 a 내에 있는 점의 갯수를 헤아린다. 길이가 증가하는 비율에 따른 점의 갯수가 증가하는 비율을 평균적으로 구함으로써 위상공간에서의 공간적 상관 관계(용량 차원)를 알 수 있다.

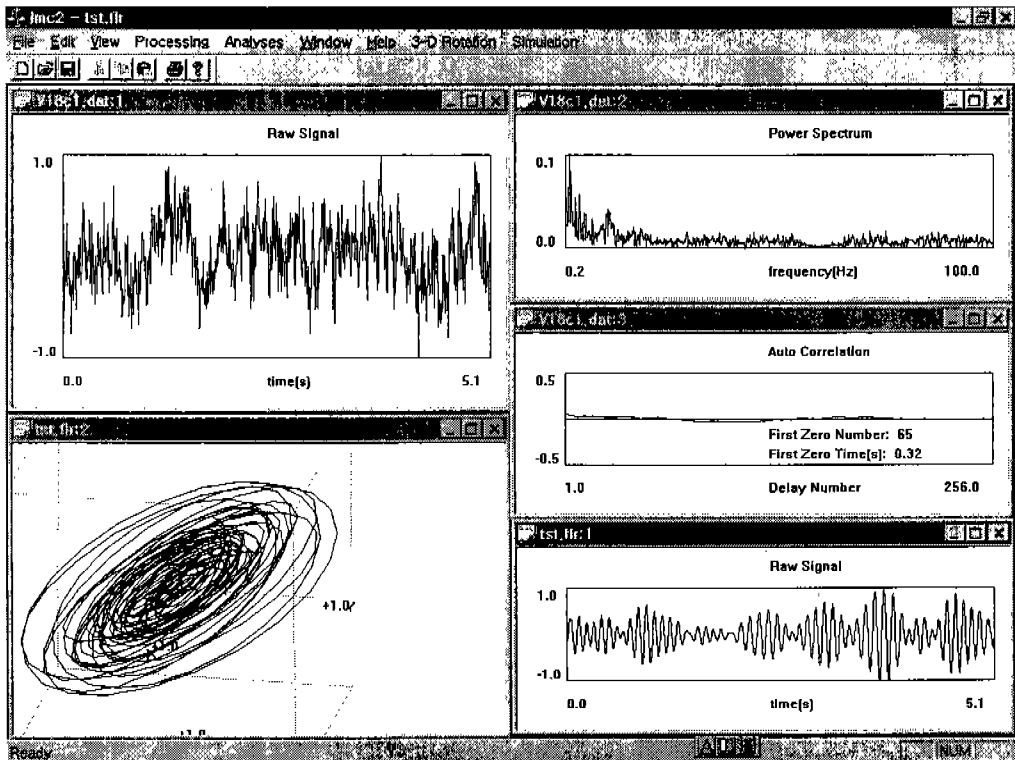
일반적으로 embedding 차원이 클수록 계를 기술하는 데 필요한 독립변수의 갯수가 커짐을 의미하고, 같은 embedding 차원에서 구해진 상관차원이 클수록 독립 변수들의 상호 긴밀성이 커짐을 의미한다.

적용 예는 그림 7과 같다. 뇌파신호에 대한 상관차원 분석 그림에서 직선부분의 기울기가 상관차원 값에 해당한다.



[그림 6] 상관차원 해석 결과

이러한 결과들을 한 눈으로 볼 수 있게 뇌전위 신호에 적용하여 나타낸 결과를 그림 7에 보인다.



[그림 7] 뇌전위 신호에 직접 적용하여 분석한 결과 예

4. 검토 및 결론

본 연구의 목표는 뇌전위 신호와 같은 복잡한 비선형 신호들을 분석할 수 있는 분석 도구들의 완성도 있는 프로그램의 구현이다.

구현할 프로그램은 모의 데이터 발생부분, 신호처리 부분, 신호분석 부분, 각 결과 해석에 대한 설명부분으로 구성한다.

향후 각 비선형 신호처리를 위한 분석도구들의 알고리즘의 구현, 그래픽 출력 및 모의 데이터에 의한 검증 작업을 수행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 대학기초연구 과제의 지원으로 이루어 졌음을 밝힙니다.

참고문헌

[1] 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.

[2] 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.

[3] Kaihei Kuwata, Yuji Kajitani, Ryu Katayama and Yukiteru Nishida "Chaos Simulator as a Developing Tool for Application of Chaos Engineering", Fifth IFSA World Congress, pp.853-856, 1993.

[4] 이병채 "카오스 이론을 이용한 생체 비선형 동역학 시스템의 특성 해석", 연세대학교 대학원, 박사학위논문, 1995.

[5] 배명훈, "뇌전위 측정시스템 개발 및 뇌 기능영역 추정법에 관한 연구", 한국과학기술원 물리학과 석사학위논문, 1995.

술원 물리학과 석사학위논문, 1995.

[6] 최정미, "뇌전위의 물리적 모델링과 비선형분석에 의한 뇌기능연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1997.

[7] "사람의 뇌전의 신호에 대한 카오스이론의 적용 및 감성좌표 구성" 한국과학재단, 핵심전문연구지원 연구내용발췌본, 1996.

[8] 장태규, 이춘길, 김선일, 남현도, "생체신호 자동해석 기술에 관한 연구", 한국과학재단 연구보고서, 1994.

[9] 이호섭, "카오스 특징 추출에 의한 시계열 신호의 패턴인식", 숭실대학교 전기공학과 석사학위논문, 1996.

[10] 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關する調査報告書", Mar., 1995.

[11] 片山, 森戸, "快適石油ファンヒータをカオスで!!", エレクトロニクス, Jan., 1993.

[12] 田原, "カオスで生體機能をさぐる", エレクトロニクス, Jan., 1993.

[13] 合原, "バイオカオス情報とその工學的應用", 電子工業月報 第34卷 第1號, 1992.

[14] Katayama, Kajitani, "카오스시ミュレータ", SANYO Technical Review, Vol. 25, No.1, Jun., 1993.