

**THE ANALYSIS OF NON-LINEAR DYNAMICAL  
SYSTEMS WITH APPLICATIONS TO ECOLOGICAL,  
BIOLOGICAL NEURAL NETWORKS, AND CHAOTIC  
ELECTRICAL OSCILLATORS**

**MADA SANJAYA WS**

**DOCTOR OF PHILOSOPHY  
UNIVERSITI MALAYSIA TERENGGANU  
MALAYSIA**

**2012**

**THE ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL  
SYSTEMS WITH APPLICATIONS TO ECOLOGICAL,  
BIOLOGICAL NEURAL NETWORKS, AND CHAOTIC  
ELECTRICAL OSCILLATORS**

**MADA SANJAYA WS**

**Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirement for the  
Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Science and  
Technology  
Universiti Malaysia Terengganu**

**July 2012**

*DEDICATION*

*This thesis is dedicated to*

*All my Supervisor, Teacher, Lecturer, and Murrobi  
My little family: Utin Sutinah, Alya Aurora Khaerunnisa, and Rizki Affra  
Azkaneta*

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Malaysia Terengganu in fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy

**THE ANALYSIS OF NON-LINEAR DYNAMICAL SYSTEMS  
WITH APPLICATION TO ECOLOGICAL, BIOLOGICAL  
NEURAL NETWORKS, AND CHAOTIC ELECTRICAL  
OSCILLATORS**

**Mada Sanjaya WS**

**July 2012**

**Chairperson : Assoc. Prof. Mustafa bin Mamat, Ph.D.**

**Member : Zabidin bin Salleh, Ph.D**

**Prof. Ismail bin Mohd, Ph.D.**

**Faculty : Science and Technology**

Non-Linear dynamical systems are ubiquitous in science and engineering, since they allow developing and understanding models of complex systems and phenomena. In this thesis the complex behavior of ecological, biological neural networks, and chaotic electrical oscillator systems and its application for secure communication has been investigated.

In ecological systems, almost each of the food chain models considered in ecological literature are constructed by invoking same type of functional responses for prey-predator and predator-super predator interactions. But a different selection of

functional response would be perhaps more realistic in this context. From this point of view, we have proposed some mixed functional response form for two and three species food chain interaction model. In this thesis, we study mathematical model of ecology with a two and a tritrophic food chain by mixed the type of functional response, respectively. Mathematical models of food chain are analyzed and possible dynamical behavior of this system is investigated at equilibrium points. In the parameter space, there are passages from instability to stability, which are called Hopf bifurcation points. Furthermore the dynamical behaviors of this models are investigated. Models for biologically reasonable parameter values, exhibits stable, limit cycles unstable periodic and chaos.

In this thesis also studied the dynamical systems of biological neural networks. System of signals propagation from one neuron to another represent event of very complex electrochemical mechanism. This work addresses the dynamics and complexity of neuron mathematical models. The aim of this thesis firstly is the understanding of the biological meaning of existing mathematical systems concerning neurons such as Hodgkin-Huxley biophysical models or FitzHugh-Nagumo spiking neuron models and Hindmarsh-Rose bursting neuron models. The local stability and the numerical asymptotic analysis of FitzHugh-Nagumo spiking neuron models and Hindmarsh-Rose bursting neuron models are then developed in order to comprehend the dynamic evolution of a single FitzHugh-Nagumo and Hindmarsh-Rose neuron models. This examination naturally comes to the study of neuron networks. The analysis of these networks uses the chaotic synchronization theory via connections between neurons and can give rise to emergent properties and self-organization.

The last of this thesis focuses on the analysis of chaotic electrical oscillator and its application for secure communication. Synchronization between chaotic systems has received considerable attention and led to communication applications. With the methods of chaotic synchronization, a message signal sent by a transmitter system can be reproduced at a receiver under the influence of a single chaotic signal through synchronization. This thesis presents the study of numerical simulation and circuit simulation of chaos synchronization for a number of chaotic systems including autonomous and non-autonomous (periodically forced) systems. For some systems the synchronization is quite robust to perturbation and also it is quite sensitive to parameters. Hence, this system may be effectively used in signal masking and transmission. Some results in real circuit experiments and signal processing are also presented.

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Malaysia Terengganu sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Doktor Falsafah

**ANALISIS SISTEM DINAMIK TAK LINEAR SERTA APLIKASI  
DALAM EKOLOGI, JARINGAN SARAF BIOLOGI, DAN  
OSILATOR ELEKTRIK KALUT**

**Mada Sanjaya WS**

**Julai 2012**

**Pengerusi : Prof. Madya Mustafa bin Mamat, Ph.D.**

**Ahli : Zabidin bin Salleh, PhD**

**Prof. Ismail bin Mohd, Ph.D.**

**Fakulti : Sains dan Teknologi**

Sistem dinamik tak linear sentiasa digunakan dalam bidang sains dan kejuruteraan, kerana ianya terlibat dengan membangun dan memahami model sistem dan fenomena kompleks. Dalam tesis ini tingkah laku yang kompleks berkaitan ekologi, jaringan saraf biologi, dan sistem pengayun elektrik kalut dan aplikasi untuk komunikasi keselamatan telah diselidiki.

Dalam sistem ekologi, hampir setiap model rantai makanan yang dianggap dalam literatur ekologi dibina oleh fungsi respon jenis yang sama untuk interaksi mangsa-pemangsa dan pemangsa-pemangsa terlibat. Tetapi pemilihan fungsi respon yang

berbeza akan mungkin lebih realistik dalam konteks ini. Dari sudut ini, penyelidik telah mencadangkan beberapa bentuk fungsi respon campuran untuk interaksi dua dan tiga spesis model rantai makanan. Dalam tesis ini, dibincangkan model matematik ekologi dengan dua dan tiga rantai makanan dengan jenis fungsi respon campuran masing-masing. Model matematik bagi rantai makanan dianalisis dan mungkin tingkah laku dinamik sistem ini disiasat di titik keseimbangan. Dalam ruang parameter, terdapat perubahan dari ketidakstabilan kepada kestabilan, yang dinamakan dengan titik bifurkasi Hopf. Tambahan pula, tingkah laku model dinamik ini diselidiki. Model untuk sistem biologi dengan nilai-nilai parameter tertentu, menghasilkan stabil, tak stabil berkala dan kalut.

Dalam tesis ini juga dibahaskan sistem dinamik jaringan saraf biologi. Sistem perambatan isyarat dari satu neuron ke neuron yang lain mewakili peristiwa mekanisma yang sangat kompleks elektrokimia. Penyelidikan ini tertumpu kepada dinamik dan kompleks model matematik neuron saraf. Tujuan pertama tesis ini adalah untuk memahami proses biologi dalam bentuk sistem matematik yang tertumpu pada neuron saraf seperti model biofizik Hodgkin-Huxley atau model spiking neuron FitzHugh-Nagumo, dan model bursting neuron saraf Hindmarsh-Rose. Kestabilan tempatan dan analisis berangka asimptot FitzHugh-Nagumo neuron model dan Hindmarsh-Rose model neuron maka dibangunkan untuk memahami perubahan dinamik satu neuron saraf model neuron FitzHugh-Nagumo dan Hindmarsh-Rose. Penyelidikan ini secara semulajadi untuk mengkaji jaringan neuron saraf. Analisis jaringan neuron saraf ini menggunakan teori tingkat kesamaan kalut melalui sambungan antara neuron saraf dan boleh menimbulkan sifat-sifat munculan dan pengorganisasian diri sendiri.



Akhir sekali kajian ditumpu kepada analisis pengayun elektrik yang kalut dan aplikasinya untuk keselamatan komunikasi. Tingkat kesamaan antara sistem yang kalut telah mendapat perhatian yang besar dan membawa kepada aplikasi dalam komunikasi. Dengan kaedah tingkat kesamaan kalut, isyarat mesej yang dihantar oleh sistem pemancar boleh diterbitkan semula pada penerima di bawah pengaruh isyarat kalut melalui tingkat kesamaan. Dibentangkan kajian simulasi berangka dan simulasi rangkaian tingkat kesamaan kalut untuk beberapa sistem yang kalut termasuk sistem autonomi dan bukan autonomi (berkala terpaksa). Bagi sesetengah sistem sinkronisasi agak kuat untuk pengusikan dan juga agak sensitif terhadap parameter. Oleh itu, sistem ini mungkin berkesan digunakan dalam pelekatan dan penghantaran isyarat. Beberapa keputusan dalam eksperimen litar sebenar dan pemprosesan isyarat juga turut dipersembahkan.