

管理科学与工程丛书 6

主编:葛新权

免疫进化 理论与应用

Immune
Evolutionary Theory
and Applications

杨孔雨/著



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

管理科学与工程丛书·6

主 编：葛新权

免疫进化理论与应用

Immune Evolutionary Theory and Applications

杨孔雨 著



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

管理科学与工程丛书·6

免疫进化理论与应用

著 者 / 杨孔雨

出 版 人 / 谢寿光

总 编 辑 / 邹东涛

出 版 者 / 社会科学文献出版社

地 址 / 北京市东城区先晓胡同 10 号

邮政编码 / 100005

网 址 / <http://www.ssap.com.cn>

网站支持 / (010) 65269967

责任部门 / 财经与管理图书事业部 (010) 65286768

电子信箱 / caijingbu@ssap.cn

项目负责 / 周 丽

责任编辑 / 李玉平

责任校对 / 杜明月

责任印制 / 岳 阳

总 经 销 / 社会科学文献出版社发行部

(010) 65139961 65139963

经 销 / 各地书店

读者服务 / 市场部 (010) 65285539

排 版 / 北京鑫联必升文化发展有限公司

印 刷 / 三河市世纪兴源印刷有限公司

开 本 / 787 × 1092 毫米 1/20

印 张 / 20.4

字 数 / 328 千字

版 次 / 2008 年 9 月第 1 版

印 次 / 2008 年 9 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978 - 7 - 5097 - 0270 - 3 / F · 0097

定 价 / 49.00 元

本书如有破损、缺页、装订错误,

请与本社市场部联系更换



版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

免疫进化理论与应用 / 杨孔雨著. — 北京: 社会科学
文献出版社, 2008. 9

(管理科学与工程丛书·6)

ISBN 978-7-5097-0270-3

I. 免… II. 杨… III. 免疫学-应用-人工智能-
研究 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 098414 号

本书受北京市教委科学技术与
研究生建设项目资助

本书受北京市重点建设学科管理科学与
工程建设项目资助

总 序

为了提高北京地区高等学校学科建设水平，北京市教育委员会于2002年启动了北京市重点学科和重点建设学科计划，从2003年起到2007年连续五年进行建设，以促进学科上水平、上层次；在确保学科水平全国第一的地位的同时，积极地为北京地区社会发展与经济建设服务，以及为北京市政府部门提供决策支持服务。

北京机械工业学院工商管理分院的“管理科学与工程”学科经过公平竞争，被选为北京市重点建设学科。

工商管理分院是北京机械工业学院一个最大的系。拥有管理科学与工程、技术经济及管理、企业管理、国民经济学四个硕士学位授权学科；拥有会计学、会计学（注册会计师）、财务管理、财务管理（证券与投资）、市场营销、工商管理（生产与质量管理）、信息系统与信息管理等五个学士学位授权专业。工商管理分院下设会计学、财务管理、市场营销、工商管理、信息管理五个教研室；拥有微机实验中心、会计电算化、ERP、金融模拟、资料室等五个实验室。工商管理分院现有教授10人、副教授22人，青年教师都具有博士或硕士学位。在教师中，有跨世纪学科带头人、北京市政府顾问、证券投资专家、国家注册审核员、国家注册会计师，他们分别在计量经济、科技管理、证券投资、质量管理和财务会计教学与研究领域颇有建树，享有较高的知名度。近五年

来,在提高教学质量的同时,在科学研究方面也取得了丰硕的成果。完成了3项国家级项目和6项省部级项目,荣获1项省部级科技进步二等奖和1项省部级科技进步三等奖,经省部级鉴定,2项达到了国内领先水平;出版专著20部,出版译著8本,出版著作40部,出版教材16本;发表论文100余篇,其中国家核心期刊论文近60篇。这些成果直接或间接地为政府部门以及企业服务,特别地服务于北京地区社会发展与经济建设。为重点建设学科“管理科学与工程”建设与发展打下了一个比较坚实的基础。在此基础上,根据我们的特色,“管理科学与工程”学科下设知识管理、科技管理、投资管理三个学术研究方向。在北京市教育委员会资助下,把我们的建设成果结集出版,形成了这套“管理科学与工程”丛书。

“管理科学与工程”学科发展日新月异,我们取得的成果不过是冰山一角,也不过是一家之言,难免有不当甚至错误之处,敬请批评指正。这也是我们出版丛书的一个初衷——抛砖引玉。让我们共同努力,提高中国“管理科学与工程”学科研究的学术水平。

主编 葛新权

2005年10月于北京育新花园

前 言

近年来,在信息科学和生命科学相互交叉渗透的研究领域,由生物免疫理论启发的人工免疫系统,是继人工神经网络和遗传进化计算之后,计算智能领域中的又一个研究热点,在国际上引起了越来越多学者的极大兴趣,研究方向已涉及优化计算、运筹调度、预测决策、网络安全、入侵检测、数据挖掘和知识工程等诸多领域。本书主要汇总了作者近年来基于免疫进化计算的免疫优化算法、多模态免疫优化和免疫防御理论的研究,及其在管理科学中的物流配送车辆调度、金融市场的预测决策、信息管理中的网络安全等方面的应用研究。

本书的研究内容和主要成果可归纳为以下几个方面。

(1) 以免疫系统本身的智能化机制和从中抽象出来的数学模型为理论依据,构建了一个具有方法论意义的通用免疫进化算法模型框架;利用马尔柯夫链理论进行了算法的收敛性证明和计算复杂性分析;实施了求解 TSP 问题和对经典测试函数的仿真实验,并通过与传统算法的比较,验证了免疫进化算法的有效性及其应用方向。

(2) 设计了一种基于双重免疫算法的动态模糊系统模型和基于粗集约简的免疫进化模型,用于抗体基因的生成;并提出了一种集成克隆算子和负选择算子的免疫多克隆选择算法,用于抗体基因的进化。

(3) 对物流配送中心的车辆调度和路径优化问题及其免疫求解算法进行了研究, 针对车辆调度问题的特殊性, 将改进免疫优化算法中的选择算子、交叉算子和变异算子做了适应性调整, 并将提出的改进免疫优化算法应用到车辆调度问题中。仿真实验结果显示, 该算法能够在较短的代数内快速地收敛到全局最优解, 优化结果进一步证明了免疫算法的优良性能。

(4) 基于通用免疫进化算法的模型框架, 设计了一套完整的多模态优化问题的求解体系和若干种改进的多模态免疫优化算法; 对不同算法分别进行了大量的实例研究和仿真实验, 并与其他同类算法的比较, 验证了各自的有效性、自适应能力和较少的计算量。

(5) 从理论上分析, 提出并证明了多模态优化算法的完全收敛性问题; 设计了多模态免疫优化算法中典型免疫算子的实现形式, 并通过形式化的定义、运行机理分析和严格的数学推理, 证明了其完全收敛性、收敛的稳定性、快速收敛能力及较低的计算复杂性等等, 基本形成了完善的免疫进化计算的基础理论和应用体系。

(6) 深入研究了免疫算法在金融预测中的应用。在模糊预测模型基础上, 系统地提出了免疫优化模糊系统的各种方法及利弊, 然后采用了3种不同的方法训练模糊模型并应用于金融预测, 并分别进行了实证研究, 对20日移动平均线进行了预测, 对拟合与预测的效果进行了分析, 给出了合理的解释。

(7) 以通用免疫计算框架为指导, 结合粗集理论的属性约简算法, 设计了一个基于免疫 Agent 的分布式网络入侵检测模型; 并实际开发了一个具有基因进化能力的自适应免疫入侵检测原型系统。

(8) 模拟生物免疫系统的多层防御机制, 研究并提出了一种动态网络安全免疫体系, 创造性地设计了一个包括防护、检测、

响应、容侵和恢复五层防御机制的集成网络免疫系统分层模型，并简单探讨了该模型的自学习、自组织和自适应能力。

这些研究内容和成果支持的主要结论是：基于免疫理论的进化算法整体上优于传统进化算法，尤其适合于对多模态优化问题的求解，可保证实现多模态问题的完全收敛和自适应搜索，具有广泛的实际应用价值；免疫系统与网络安全系统具有自然的机理相似性，其抗体进化机制可用于实现自适应的智能入侵检测系统和动态的分布式网络免疫体系。

本书的出版是在作者博士课题研究的基础上，基于作者近年来主持的教育部人文社科研究规划基金项目（07JA630063）、北京市优秀人才培养资助项目（J0734006）、北京市教委人才强教计划项目（51070036）、山东省教育厅科技计划（J04A12；J02F06）等项目的研究和基金资助，尤其得到北京信息科技大学经管学院知识管理研究中心和葛新权院长的支持和帮助。感谢我的博士生导师王秀峰教授，感谢社会科学文献出版社，感谢所有参与上述项目研究的同事和研究生们，以及北京信息科技大学经济管理学院、信息管理学院的领导和老师们多年来对笔者的大力支持。

目 录

前 言 / 1

第一章 绪论 / 1

第一节 引言 / 1

第二节 免疫进化计算及其典型应用 / 2

第三节 本书的研究内容与组织结构 / 8

第二章 免疫系统与免疫进化 / 14

第一节 生物免疫系统基本原理 / 14

第二节 人工免疫系统研究概况 / 21

第三节 免疫进化与免疫优化计算 / 29

第四节 免疫系统与网络安全 / 32

第三章 进化计算与免疫进化算法 / 36

第一节 进化计算与遗传算法 / 36

第二节 免疫机制及其对进化计算的启示 / 45

第三节 理论免疫学与免疫进化模型 / 52

第四节 基于免疫机制的进化算法研究 / 62

第五节 通用免疫进化算法 (GIEA) 一般框架 / 76

第六节 利用 GIEA 求解 TSP 等仿真实验 / 84

第七节 本章小结 / 92

第四章 抗体基因生成与进化算法 / 94

第一节 抗体基因及其编码设计 / 94

第二节 利用模糊系统提取抗体基因 / 99

第三节 负选择算法生成抗体基因 / 109

第四节 克隆选择算法实施基因进化 / 118

第五节 抗体基因进化算法集成 / 131

第六节 本章小结 / 135

第五章 免疫优化在物流配送中的应用 / 137

第一节 物流配送的车辆调度问题 / 137

第二节 车辆调度模型研究 / 141

第三节 免疫优化算法求解车辆调度问题 / 148

第四节 车辆调度问题仿真实验 / 153

第五节 本章小结 / 161

第六章 多模态免疫优化算法 / 162

第一节 多模态优化算法概述 / 162

第二节 多模态遗传算法及其改进 / 167

第三节 多模态优化算法的完全收敛性 / 175

第四节 基于 GIEA 多模态免疫算法设计 / 185

第五节 自适应多模态免疫进化算法的设计 / 195

第六节 基于平衡峰值多模态免疫优化算法 / 204

第七节 多模态免疫优化算法的理论性能分析 / 215

第八节 本章小结 / 221

第七章 免疫算法在金融预测中的应用 / 223

第一节 金融预测 / 224

第二节 模糊预测模型 / 225

第三节 基于多模态免疫算法的模糊规则发现 / 230

第四节 免疫算法优化模糊系统参数 / 240

第五节 双层免疫算法优化动态模糊系统 / 247

第六节 变长抗体编码免疫算法优化模糊系统 / 256

第七节 本章小结 / 267

第八章 基于免疫进化的入侵检测系统研究 / 272

第一节 入侵检测系统及其存在的问题 / 272

第二节 计算智能在入侵检测中的应用简介 / 281

第三节 基于免疫进化与粗集约简的 IDS 模型 / 287

第四节 免疫入侵检测原型系统的设计与实现 / 300

第五节 本章小结 / 312

第九章 基于免疫机制的网络安全体系设计 / 313

第一节 传统网络安全体系结构与模型 / 313

第二节 新一代的网络安全体系结构 / 318

第三节 网络免疫系统模型框架的提出 / 326

第四节 集成网络免疫系统的原型设计 / 340

第五节 本章小结 / 349

第十章 回顾与展望 / 351

第一节 研究工作回顾 / 351

第二节 主要研究成果和结论 / 353

第三节 未来研究展望 / 357

第四节 结束语 / 359

主要参考文献 / 360

作者论著及研究项目 / 382

后 记 / 386

1. 免疫系统的组成与功能 / 1

2. 免疫系统的发育与成熟 / 2

3. 免疫系统的调节与控制 / 3

4. 免疫系统的应答与效应 / 4

5. 免疫系统的记忆与遗忘 / 5

6. 免疫系统的衰老与死亡 / 6

7. 免疫系统的进化与适应 / 7

8. 免疫系统的疾病与防治 / 8

9. 免疫系统的未来展望 / 9

10. 免疫系统的参考文献 / 10

11. 免疫系统的作者论著 / 11

12. 免疫系统的后记 / 12

CONTENTS

Preface / 1	
Chapter 1 Introduction / 1	
1.1 Foreword / 1	
1.2 Immune Evolutionary Computation and Its Typical Applications / 2	
1.3 Research Contents and Organization of the Book / 8	
Chapter 2 Immune System and Immune Evolution / 14	
2.1 Principle of Biology Immune System / 14	
2.2 Research Survey of Artificial Immune System / 21	
2.3 Immune Evolution and Immune Optimization Algorithm / 29	
2.4 Immune System and Network Security / 32	
Chapter 3 Evolutionary Computation and Immune Evolutionary Algorithm / 36	
3.1 Evolutionary Computation and Genetic Algorithm / 36	
3.2 Immune Mechanism and Revelation to Evolutionary Computation / 45	
3.3 Theoretic Immunology and Immune Evolutionary Model / 52	

- 3.4 Research of Evolutionary Algorithms Based on Immune Mechanism / 62
- 3.5 The Framework of General Immune Evolutionary Algorithms (Giea) / 76
- 3.6 Simulation Test to Sovel Tsp Using Giea / 84
- 3.7 Brief Summary / 92

Chapter 4 Produce and Evolution Algorithms Research of Antibody Gene / 94

- 4.1 Antibody Gene and Its Code Design / 94
- 4.2 To Produce Antibody Gene with Fuzzy System / 99
- 4.3 To Produce Antibody Gene with Negative Selection Algorithm / 109
- 4.4 To Evolve Antibody Gene with Clone Selection Algorithm / 118
- 4.5 Integration of Antibody Gene Evolution Algorithms / 131
- 4.6 Brief Summary / 135

Chapter 5 Applications to Logistics Distribution of Immune Optimization / 137

- 5.1 Vehicle Routing Problem of Logistics Distribution / 137
- 5.2 Research of Vehicle Scheme Model / 141
- 5.3 Immune Optimization Algorithm to Solve Vrp / 148
- 5.4 Simulation Tests to Solve Vrp / 153
- 5.5 Brief Summary / 161

Chapter 6 Research of Multi-Modal Immune Algorithm / 162

- 6.1 Summary of Multi-Modal Optimization Algorithm / 162

6.2	Multi-Modal Genetic Algorithm and Its Improvement /	167
6.3	Complete Convergence of Multi-Modal Immune Algorithm /	175
6.4	Design of Multi-Modal Immune Algorithm Based on Giea /	185
6.5	Design of An Adaptive Multi-Modal Immune Algorithm /	195
6.6	A Multi-Modal Immune Algorithm Based on Peaks Poised /	204
6.7	Theoretic Performance Analysis to Multi-Modal Immune Algorithm /	215
6.8	Brief Summary /	221
Chapter 7	Applications to Finance Forecast of Immune Algorithm /	223
7.1	Finance Forecast /	224
7.2	Fuzzy System Model to Forecast /	225
7.3	Fuzzy Rules Discovery Based on Multi-Modal Immune Algorithm /	230
7.4	Optimizing Parameters of Fuzzy System with Immune Algorithm /	240
7.5	Deciding Structure and Parameters of Fuzzy System with Double Ia /	247
7.6	Optimizing Fuzzy System with Length-Changeable Antibody Codes Ia /	256
7.7	Brief Summary /	267
Chapter 8	Research of Intrusion Detection System Based on Immune Evolution /	272

- 8.1 Intrusion Detection System and Its Problems / 272
- 8.2 Brief Introduce of Computation Intelligence to Ids / 281
- 8.3 A N Ids Model Based on Rough-Set Reduction Algorithm / 287
- 8.4 Design and Implementation of An Immune Ids Prototype / 300
- 8.5 Brief Summary / 312

Chapter 9 Design of Network Security System Based on Immune Mechanism / 313

- 9.1 Traditional Network Security Architecture and Models / 313
- 9.2 The New Generation Network Security Architecture / 318
- 9.3 the framework of network immune system model / 326
- 9.4 Design of An Integration Network Immune System Prototype / 340
- 9.5 Brief Summary / 349

Chapter 10 Review and Expectation / 351

- 10.1 Review of Research Works / 351
- 10.2 Main Production and Conclusion / 353
- 10.3 Expectation to Future Work / 357
- 10.4 The Tag / 359

References / 360

Publications and Projects of the Author / 382

Postscript / 386