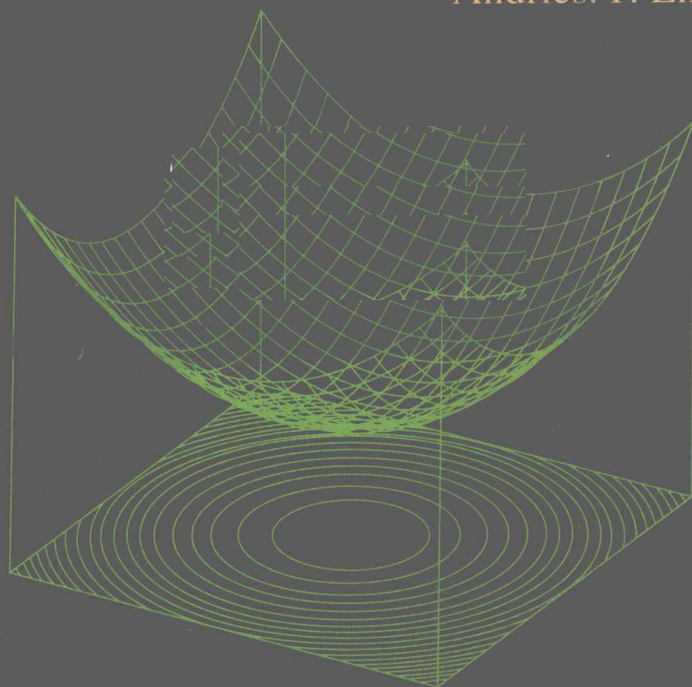


计算智能导论

(第2版)

Andries. P. Engelbrecht 著
谭 营 等译



COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AN INTRODUCTION

Second Edition

清华大学出版社



世界著名计算机教材精选

计算智能导论

(第2版)

Andries. P. Engelbrecht 著
谭 营 等译

清华大学出版社
北京

Andries. P. Engelbrecht

Computational Intelligence: An Introduction, 2E

ISBN: 978-0-470-03561-0

Copyright © 2009 by Wiley Publishing, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

Simplified Chinese translation edition is published and distributed exclusively by Tsinghua University Press under the authorization by John Wiley & Sons, Inc., within the territory of the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译由美国 John Wiley & Sons, Inc. 公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾)独家出版发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号 图字 01-2009-4071 号

本书封面贴 John Wiley & Sons 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算智能导论(第2版)/(南非)英吉布雷切特(Engelbrecht, A. P.)著;谭莹等译. --北京:清华大学出版社, 2010.6

(世界著名计算机教材精选)

书名原文: Computational Intelligence: An Introduction, 2E

ISBN 978-7-302-22205-7

I. ①计… II. ①英… ②谭… III. ①人工智能—神经网络—计算—教材 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 036591 号

责任编辑:龙啟铭

责任校对:徐俊伟

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954, jsjcc@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮编:100084

邮购:010-62786544

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:北京国马印刷厂

经销:全国新华书店

开本:185×260 印张:30.75 字数:765千字

版次:2010年6月第1版 印次:2010年6月第1次印刷

印数:1~3000

定价:59.00元

产品编号:031817-01

译者序

人工智能是未来之路，而计算智能则是未来的计算方式。没有计算的智能就像没有翅膀的鸟，而具有了智能的计算才能够实现人类的想象和梦想。人工智能的研究方式是自顶向下的研究方式，而计算智能则是自底向上的方式，它们都是研究和模拟自然智能，并为人类服务的。

计算智能的基本出发点是模拟自然以实现复杂问题的求解，目前它已经成为智能与信息科学中最活跃的研究领域之一，得到了世界范围的众多学者的广泛关注和深入研究。

计算智能是研究复杂的、不确定的、变化的环境中智能行为的自适应机制，包括学习能力、对新情况的适应能力、抽象能力、泛化能力、发现能力与联想能力等。计算智能具有很强的多学科交叉特点、它是生物学、神经科学、认知科学、计算机科学、免疫学、哲学、社会学、数学、信息科学、非线性科学、工程学、音乐、物理学等众多学科相互交叉融合的结果，是人们对自然智能认识和模拟的最新成果，它的深入发展将极大地改变人们认识自然，求解现实问题的能力和水平。

本书导论性地介绍了计算智能的 5 个典型范例：人工神经网络、进化计算、计算群体智能、人工免疫系统和模糊系统。它们分别是对生物神经系统、生物进化过程、社会组织的群体行为、自然免疫系统和人类思维过程的成功建模。这些范例已经得到了广泛深入的研究，人们在取得了很大的成功之后，已将研究成果广泛地应用到了众多的实际应用领域。极大提高了人们发现问题，求解问题，尤其是求解复杂科学与工程问题的能力。

通过阅读本书，读者可以全面地了解到目前计算智能研究的主要成果和最新进展，对相关专业的研究生、高年级本科生、高校教师、科研人员和工程技术人员都具有很好的参考价值，故我们决定将该书的英文版第 2 版翻译成中文出版，希望本书中文版的出版能够推动计算智能在我国的普及和广泛深入的研究，促进我国智能科学的发展和进步。

全书分成 6 个部分共 23 章和 1 个附录。由谭营教授领导的北京大学计算智能实验室 (<http://www.cil.pku.edu.cn>) 的部分教师和研究生共同翻译，它是全体实验室 (CIL@PKU) 科研人员共同努力的结果。参加初稿翻译的人员有谭营、阮光尘、朱元春、周游、肖忠民、杨健、尹致诚。另外，参加材料收集、整理、排版和辅助工作的人员有邓超、晁睿、张鹏涛、王军等。另外，顾岁成、王维、刘坤、黄熙、郑中阳、顾鑫峰等也参与了一些辅助工作。全书的译文由谭营负责统一术语和格式，并进行了一致性检查。在翻译的过程中，对发现的原著中的错误进行了相应的更正，对原著叙述不畅的地方进行了适当的补充和润色。最后，由谭营和邓超对全部译稿进行了认真校对并最终定稿。

感谢 Engelbrecht 教授对出版计算智能导论中文版的大力支持和帮助，尤其感谢他向 John Wiley & Sons 出版公司的极力推荐。感谢清华大学出版社的编辑们，他们积极引进本

书并获得 John Wiley & Sons 出版公司的出版许可权, 从而使得中文版能够如此之快地与读者见面。

在本书的翻译过程中, 我们力求忠实、准确地把握原著, 同时保留原著的写作风格。但由于译者水平有限, 译文中难免存在一些错误和不当之处, 敬请广大读者批评指正。有关意见和建议请发送到 ytan@pku.edu.cn, 我们将视具体情况尽可能予以采纳并更正。希望这本译著有助于推动我国在计算智能方面的深入研究和广泛应用。

谭莹

于北大中关村, 北京

原著（第2版）序

人们从自然系统的研究中学到许多知识，并用这些知识发展新的算法和模型来求解复杂问题。本书在计算智能（CI）框架下，给出了这些技术范例（paradigm）的导论。书中将讨论人工神经网络、进化计算、群体智能、人工免疫系统和模糊系统。它们分别建模了以下自然系统：生物神经网络、进化、社会组织的群体行为、自然免疫系统和人类思维过程。

为什么本书要讨论计算智能？需求来自于一门研究生课程，在该课程中学生们缺乏对人工智能和数学背景知识的深入了解。因此，对计算智能范例进行概述，同时提供一定深度的数学分析是有必要的。本书的内容虽然是导论性质的，但没有回避对相关技术细节的论述，并且还还为有兴趣的读者提供了数学理论基础。本书的目的不是对所有的计算智能范例和算法进行全面介绍，而只是概述了流行的和常用的模型。对于这些模型，本书详细概述了它们的不同实现。因此，本书最适合于刚进入计算智能领域的初学者。本书也适合用作大学三年级学生的教材。

除了论述计算智能范例以外，本书还对 CI 研究前沿的许多新发展进行了介绍，以飨感兴趣的读者。因此，本书的材料对于许多研究生和那些希望学习不同 CI 范例的研究人员，以及那些不了解 CI 技术魅力的研究人员（如，生物信息学家、生物化学家、机械化学工程师、经济学家、音乐家和医生）来说都是非常有用的。

本书包括 6 个部分。第 I 部分简要介绍不同计算智能范例和历史回顾。第 II 部分～第 VI 部分分别论述不同的计算智能范例，读者可以以任意顺序阅读它们。

第 II 部分论述人工神经网络（NN），包括以下主题：第 2 章介绍作为神经网络基础的人工神经元，讨论各类激活函数、神经元几何结构和学习规则。第 3 章论述监督学习。简要介绍各种类型的监督网络，包括前馈神经网络、功能联结神经网络、乘积单元神经网络、级联神经网络和回馈神经网络。同时，还论述各类监督学习算法，包括梯度下降法、共轭梯度法、跳蛙和粒子群优化。第 4 章论述非监督学习。讨论各种非监督神经网络模型，包括学习向量量化和自组织特征图。第 5 章论述径向基函数神经网络。在第 6 章讨论增强学习。第 7 章主要讨论监督网络的性能问题，重点是精度指标和性能改进方法。

第 III 部分介绍几种进化计算模型，包括下面的主题：第 8 章是对计算进化过程及其基本算子的综述；第 9 章讨论遗传算法；第 10 章讨论遗传编程；第 11 章讨论进化规划；第 12 章讨论进化策略；第 13 章讨论差分进化；第 14 章讨论文化算法；第 15 章讨论协同进化，并简要介绍竞争与符号化的协同进化。

第 IV 部分简要介绍两类基于群体的模型：第 16 章讨论粒子群优化；第 17 章讨论蚂蚁算法。

关于人工免疫系统的内容放在了第 V 部分。其中第 18 章讨论自然免疫系统，第 19 章

介绍几种人工免疫模型。

第 VI 部分论述模糊系统。第 20 章简要介绍模糊逻辑并讨论隶属函数。第 21 章讨论模糊推理系统。第 22 章讨论模糊控制。第 23 章简要综述了粗糙集。

全书通过习题加深所论述的内容并激发读者深入思考。书中许多地方都很适时地给出了实际应用例子,以便更好地展示相关的理论概念。

配合本书的网站地址为 <http://ci.cs.up.ac.za>, 该网站提供了许多本书所讨论的 CI 模型的实现算法。这些算法均由比勒陀利亚大学 (Pretoria University) 计算机系计算智能研究组使用 Java 编程实现,并且作为开放源代码库 Cilib 的一部分。Cilib (<http://cilib.sourceforge.net>) 是一个使实现新 CI 算法方便、简易的通用框架。目前,它已包含了粒子群优化、神经网络和进化计算等框架。在本书的网站中,读者还可以下载书中所使用的首字母缩略词表和符号表。

最后,我要感谢那些为完成本书给予我们帮助的人们。首先,我要感谢我的母亲 Magriet Engelbrecht 帮助我输入和校对了书中的许多文字。其次,要感谢 Anri Henning, 她花费了许多晚间时光进行校对工作。本书的人工免疫系统部分是由我的一个博士生 Attie Graaff 撰写的。如果没有他的帮助,本书不可能如此完整。最后,我还要感谢我的所有研究生们,他们为本书开发和建立了 Cilib。

A. P. Engelbrecht

于比勒陀利亚南非

目 录

第 I 部分 引 言

第 1 章 计算智能简介	3
1.1 计算智能典型方法	4
1.1.1 人工神经网络	4
1.1.2 进化计算	6
1.1.3 群体智能	7
1.1.4 人工免疫系统	7
1.1.5 模糊系统	7
1.2 简短历史	8
1.3 习题	10

第 II 部分 人工神经网络

第 2 章 人工神经元	13
2.1 计算网络输入信号	13
2.2 激活函数	14
2.3 人工神经元几何构型	15
2.4 人工神经元学习	17
2.4.1 增广向量	17
2.4.2 梯度下降学习规则	18
2.4.3 Widrow-Hoff 学习规则	19
2.4.4 广义 delta 学习规则	19
2.4.5 误差修正学习规则	19
2.5 习题	19
第 3 章 监督学习神经网络	21
3.1 神经网络的类型	21
3.1.1 前馈神经网络	21
3.1.2 函数链神经网络	22
3.1.3 乘积单元神经网络	23
3.1.4 简单反馈神经网络	25
3.1.5 时延神经网络	26
3.1.6 级联神经网络	27

3.2	监督学习规则	28
3.2.1	监督学习问题	28
3.2.2	梯度下降优化	29
3.2.3	尺度化共轭梯度	34
3.2.4	LeapFrog 优化	38
3.2.5	粒子群优化	38
3.3	隐层单元的功能	40
3.4	集成神经网络	40
3.5	习题	42
第 4 章	非监督学习神经网络	43
4.1	背景	43
4.2	Hebbian 学习规则	44
4.3	主成分学习规则	45
4.4	学习向量量化-I	46
4.5	自组织特征映射	48
4.5.1	随机训练规则	49
4.5.2	批映射	51
4.5.3	可生长 SOM	51
4.5.4	加快收敛速度	53
4.5.5	聚类和可视化	54
4.5.6	使用 SOM	55
4.6	习题	56
第 5 章	径向基函数网络	57
5.1	学习向量量化-II	57
5.2	径向基函数神经网络	57
5.2.1	径向基函数网络结构	57
5.2.2	径向基函数	58
5.2.3	训练算法	59
5.2.4	径向基函数网络的变体	62
5.3	习题	63
第 6 章	增强学习	64
6.1	通过奖励学习	64
6.2	无模型增强学习模型	66
6.2.1	即时差分学习	66
6.2.2	Q 学习	66
6.3	神经网络和增强学习	67
6.3.1	RPROP	67

6.3.2	梯度下降增强学习	68
6.3.3	连接主义的 Q-学习	69
6.4	习题	70
第 7 章	监督学习的性能问题	71
7.1	性能准则	71
7.1.1	精度	71
7.1.2	复杂度	74
7.1.3	收敛性	75
7.2	性能分析	75
7.3	性能因素	76
7.3.1	数据预备	76
7.3.2	权值初始化	81
7.3.3	学习率和冲量	81
7.3.4	优化方法	83
7.3.5	结构选择	83
7.3.6	自适应激活函数	88
7.3.7	主动学习	89
7.4	习题	95

第Ⅲ部分 进化计算

第 8 章	进化计算导论	99
8.1	一般进化算法	100
8.2	染色体的表示	101
8.3	初始种群	103
8.4	适应度函数	103
8.5	选择	104
8.5.1	选择压力	105
8.5.2	随机选择	105
8.5.3	比例选择	105
8.5.4	锦标赛选择	106
8.5.5	排序选择	107
8.5.6	波尔兹曼选择	107
8.5.7	(μ^+, λ) 选择	108
8.5.8	精英选择	108
8.5.9	名人堂	108
8.6	繁殖算子	108
8.7	终止条件	109
8.8	进化计算与经典优化算法	109

8.9	习题	110
第9章	遗传算法	111
9.1	经典遗传算法	111
9.2	交叉	111
9.2.1	二进制表示	112
9.2.2	浮点表示	113
9.3	变异	119
9.3.1	二进制表示	119
9.3.2	浮点表示	120
9.3.3	宏变异算子-无头鸡	120
9.4	控制参数	120
9.5	遗传算法的变体	122
9.5.1	代沟方法	122
9.5.2	杂乱遗传算法	122
9.5.3	交互进化	124
9.5.4	岛屿遗传算法	125
9.6	前沿专题	127
9.6.1	小生境遗传算法	127
9.6.2	约束处理	130
9.6.3	多目标优化	130
9.6.4	动态环境	133
9.7	应用	133
9.8	作业	134
第10章	遗传编程	136
10.1	基于树的表示	136
10.2	初始群体	138
10.3	适应度函数	138
10.4	交叉算子	138
10.5	变异算子	139
10.6	积木块遗传规划	141
10.7	应用	141
10.8	习题	142
第11章	进化规划	143
11.1	基本进化规划	143
11.2	进化规划算子	144
11.2.1	变异算子	144
11.2.2	选择算子	147

11.3	策略参数	148
11.3.1	静态策略参数	149
11.3.2	动态策略参数	149
11.3.3	自适应	151
11.4	进化规划的实现	153
11.4.1	经典进化规划	153
11.4.2	快速进化规划	153
11.4.3	指数进化规划	153
11.4.4	加速进化规划	154
11.4.5	动量进化规划	154
11.4.6	具有局部搜索的进化规划	155
11.4.7	带灭绝的进化规划	156
11.4.8	与粒子群优化的混合	157
11.5	前沿专题	157
11.5.1	约束处理方法	157
11.5.2	多目标优化与小生境	158
11.5.3	动态环境	158
11.6	应用	158
11.6.1	有限状态机	158
11.6.2	函数优化	160
11.6.3	训练神经网络	160
11.6.4	实际应用	160
11.7	习题	161
第 12 章	进化策略	162
12.1	(1+1)-进化策略	162
12.2	一般进化策略算法	163
12.3	策略参数和自适应	164
12.3.1	策略参数类型	164
12.3.2	策略参数变种	165
12.3.3	自适应策略	167
12.4	进化策略算子	168
12.4.1	选择算子	168
12.4.2	交叉算子	169
12.4.3	变异算子	170
12.5	进化策略变种	172
12.5.1	极进化策略	172
12.5.2	带方向变量的进化策略	173
12.5.3	增量进化策略	174

12.5.4	替代进化策略	174
12.6	高级话题	174
12.6.1	约束处理方法	175
12.6.2	多目标优化	176
12.6.3	动态环境和噪声环境	178
12.6.4	小生境	178
12.7	进化策略的应用	179
12.8	习题	180
第 13 章	差分进化	181
13.1	基本的差分进化	181
13.1.1	差异向量	181
13.1.2	变异	182
13.1.3	交叉	182
13.1.4	选择	183
13.1.5	一般差分进化算法	184
13.1.6	控制参数	184
13.1.7	几何演示	185
13.2	差分进化/x/y/z	186
13.3	基本差分进化的变种	187
13.3.1	混合差分进化策略	187
13.3.2	基于种群的差分进化	192
13.3.3	自适应差分进化	192
13.4	离散值问题的差分进化	193
13.4.1	角度模型差分进化	194
13.4.2	二值差分进化	194
13.5	高级话题	195
13.5.1	约束控制方法	196
13.5.2	多目标优化	196
13.5.3	动态环境	197
13.6	应用	198
13.7	习题	199
第 14 章	文化算法	200
14.1	文化和人工文化	200
14.2	基本的文化算法	201
14.3	信念空间	202
14.3.1	知识成分	202
14.3.2	接受函数	203
14.3.3	调整信念空间	204

14.3.4	影响函数	205
14.4	模糊文化算法	206
14.4.1	模糊接受函数	206
14.4.2	模糊化信念空间	207
14.4.3	模糊影响函数	208
14.5	高级话题	208
14.5.1	约束控制	208
14.5.2	多目标优化	210
14.5.3	动态环境	210
14.6	应用	210
14.7	习题	211

第 15 章	协同进化	212
15.1	协同进化类型	212
15.2	竞争协同进化	213
15.2.1	竞争适应度	213
15.2.2	一般竞争协同进化算法	215
15.2.3	竞争协同进化的应用	216
15.3	协作协同进化	217
15.4	习题	218

第IV部分 计算群体智能

第 16 章	粒子群优化	221
16.1	基本粒子群优化	221
16.1.1	全局最佳粒子群优化	222
16.1.2	局部最佳粒子群优化	223
16.1.3	比较 gbest PSO 与 lbest PSO	223
16.1.4	速度成分	224
16.1.5	几何描述	225
16.1.6	算法有关方面	226
16.2	社会网络结构	229
16.3	基本变种	231
16.3.1	速度箝位	232
16.3.2	惯性权重	233
16.3.3	约束系数	236
16.3.4	同步更新与异步更新	236
16.3.5	速度模型	237
16.4	基本 PSO 的参数	238
16.5	单解粒子群优化	240

16.5.1	保证收敛的 PSO	240
16.5.2	基于社会的 PSO	241
16.5.3	混合算法	244
16.5.4	基于子群的 PSO	248
16.5.5	多次开始 PSO 算法	254
16.5.6	排斥方法	257
16.5.7	二元 PSO	259
16.6	高级专题	260
16.6.1	约束处理方法	260
16.6.2	多目标优化	261
16.6.3	动态环境	263
16.6.4	小生境 PSO	266
16.7	应用	269
16.7.1	神经网络	269
16.7.2	结构选择	271
16.7.3	游戏学习	271
16.8	习题	272
第 17 章	蚂蚁算法	273
17.1	蚁群优化元启发	273
17.1.1	蚂蚁的觅食行为	274
17.1.2	激发工作和人工信息素	276
17.1.3	简单蚁群优化算法	277
17.1.4	蚂蚁系统	280
17.1.5	蚁群系统	283
17.1.6	最大最小蚂蚁系统	285
17.1.7	蚂蚁-Q	288
17.1.8	快速蚂蚁系统	289
17.1.9	蚂蚁禁忌表	289
17.1.10	蚂蚁排名系统	290
17.1.11	逼近的非确定树搜索	290
17.1.12	参数设置	292
17.2	墓地组织与育雏	293
17.2.1	基本蚁群聚类模型	293
17.2.2	一般化后的蚁群聚类模型	294
17.2.3	蚁群聚类的最小模型	298
17.3	分工	298
17.3.1	昆虫群落的分工	299
17.3.2	基于反应阈值的分配	300

17.3.3	动态任务分配和专业化	301
17.4	高级专题	302
17.4.1	连续蚁群优化算法	302
17.4.2	多目标优化算法	304
17.4.3	动态环境	307
17.5	应用	309
17.5.1	旅行商问题	310
17.5.2	二次分配问题	311
17.5.3	其他应用	313
17.6	习题	313

第V部分 人工免疫系统

第18章	自然免疫系统	317
18.1	经典模型	317
18.2	抗体与抗原	318
18.3	白细胞	318
18.4	免疫类型	321
18.5	抗原结构的学习	321
18.6	网络理论	322
18.7	危险理论	322
18.8	习题	323
第19章	人工免疫模型	324
19.1	人工免疫系统算法	324
19.2	经典模型	326
19.2	进化方法	327
19.3	克隆选择理论模型	328
19.3.1	克隆选择算法	329
19.3.2	动态克隆选择	330
19.3.3	多层 AIS	330
19.4	网络理论模型	333
19.4.1	人工免疫网络	333
19.4.2	自稳定 AIS	335
19.4.3	增强型人工免疫网络	336
19.4.4	动态加权 B 细胞 AIS	337
19.4.5	自适应人工免疫网络	338
19.4.6	aiNet 网络模型	338
19.5	危险理论	340
19.5.1	移动自组网络	340

19.5.2	自适应邮箱	341
19.5.3	入侵检测	343
19.6	应用及其他 AIS 模型	343
19.7	习题	343
第VI部分 模糊系统		
第 20 章	模糊集	347
20.1	正式定义	347
20.2	隶属函数	348
20.3	模糊算子	350
20.4	模糊集的特性	353
20.5	模糊和概率	354
20.6	习题	354
第 21 章	模糊逻辑和模糊推理	356
21.1	模糊逻辑	356
21.1.1	语言学变量和限定	356
21.1.2	模糊规则	358
21.2	模糊推理	359
21.2.1	模糊化	359
21.2.2	推理	360
21.2.3	去模糊化	360
21.3	习题	362
第 22 章	模糊控制器	364
22.1	模糊控制器的部件	364
22.2	模糊控制器类型	365
22.2.1	基于表的控制器	365
22.2.2	Mamdani 模糊控制器	366
22.2.3	Takagi-Sugeno 控制器	366
22.3	习题	366
第 23 章	粗糙集	368
23.1	辨别力的概念	369
23.2	粗糙集中的模糊	370
23.3	模糊集中的不确定性	370
23.4	习题	371
参考文献		372