



国防科技著作精品译丛



Springer

Multidimensional Particle Swarm Optimization
for Machine Learning and Pattern Recognition

多维粒子群优化在 机器学习与模式识别中的应用

[芬]Serkan Kiranyaz [土]Turker Ince [芬] Moncef Gabbouj 著

彭鹏飞 董银文 龚立 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press



多维粒子群优化在机器学习 与模式识别中的应用

**Multidimensional Particle Swarm Optimization for
Machine Learning and Pattern Recognition**

[芬] Serkan Kiranyaz

[土] Turker Ince

[芬] Moncef Gabbouj 著

彭鹏菲 董银文 龚立 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字：军 -2016 - 090 号

图书在版编目 (CIP) 数据

多维粒子群优化在机器学习与模式识别中的应用/ (芬)赛尔坎·希兰兹 (Serkan Kiranyaz), (土)蒂尔克·英斯 (Turker Ince), (芬)蒙塞夫·加伯伊 (Moncef Gabbouj) 著; 彭鹏菲, 董银文, 龚立译. -- 北京: 国防工业出版社, 2017. 6

(国防科技著作精品译丛)

书名原文: Multidimensional Particle Swarm Optimization for Machine Learning and Pattern Recognition

ISBN 978-7-118-11354-9

I. ①多… II. ①赛… ②蒂… ③蒙… ④彭… ⑤董… ⑥龚… III. ①机器学习—研究
IV. ①TP181

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第 182038 号

Translation from the English Language edition:
*Multidimensional Particle Swarm Optimization for
Machine Learning and Pattern Recognition*
by Serkan Kiranyaz, Turker Ince and Moncef Gabbouj
Copyright © 2014 Springer-Verlag Berlin Heidelberg Springer is part of
Springer Science+Business Media
All Rights Reserved

多维粒子群优化在机器学习与模式识别中的应用

[芬] Serkan Kiranyaz [土] Turker Ince [芬] Moncef Gabbouj 著
彭鹏菲 董银文 龚立译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

开 本 710 × 1000 1/16

插 页 6

印 张 23¼

字 数 388 千字

版 次 2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2000 册

定 价 108.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

译者序

人类自诞生伊始，就与“优化”结下不解之缘。而历经数千年的发展，人类社会基于经验，总结出了各种各样的优化问题处理方法，便利了人类的生活，推动了人类社会的极大进步。

时间的车轮转到 21 世纪，信息的剧增，使得我们要面对的优化问题愈发复杂，传统的优化方法逐渐难以应对诸如动态数据聚类问题、海量图像信息的分类与检索等大量的机器学习和模式识别问题，而本书给出了针对这类问题的新的解决途径。

本书从优化方法的发展历程论起，对问题的起源、方法的提出、理论的依据等各个方面逐一介绍，内容生动，脉络清晰。同时，也对各种优化方法的适用范围、优劣特点做了翔实的说明。之后，本书讨论了目前各类优化方法的困境：在处理动态问题、海量数据上存在缺陷。在此基础上，结合相关的自主研究与发现，给出了针对这一问题的解决方法：多维粒子群优化方法。传统粒子群优化方法经过进一步发展，已扩展到多个维度，以此实现对多类最优化问题的寻优。

以优化方法为依据，本书给出了该方法在具体实际问题中的应用，应用范围十分广阔，囊括了动态数据聚类问题、进化人工神经网络、心电图分类以及海量图像数据的分类与检索等。此外，本书还介绍了专门的开发程序软件包，在理论描述的基础上，给出了实际问题的具体求解过程，真正做到了理论与实际相结合。

本书适用于模式识别、最优化技术等相关专业领域的研究人员以及数据应用方向的软件从业人员。特别感谢吴中红博士、吴清怡博士、

李黎博士为此译著顺利出版所做的大量基础性编译、校对工作。需要说明的是，本书涵盖范围十分广阔，内容极为丰富，鉴于译者水平、时间有限，瑕疵、纰漏不可避免，敬请读者批评指正。

译者

2017年3月

前言

什么是成功？笑口常开；赢得智者的尊重和孩子们的感情；博得真诚的批评家的认可并能容忍虚伪的朋友的背叛；欣赏美丽；发现别人的优点；无私奉献；让世界变得更美好，无论是一个健康的孩子、一个小园子亦或是改善社会条件；尽情欢乐、开怀大笑、放声欢唱；你的存在，使得一个生命活得自在。这就是成功。

——Ralph Waldo Emerson

本书内容源于芬兰坦佩雷工业大学 (Tampere University of Technology) 信号处理系所承担的部分 MUVIS 项目的研究工作。书中包含了丰富的 C/C++ 开源代码软件集，可以通过 MD PSO@email.com 联系作者索要。

多年来，我们有幸与一批优秀的研究人员、学生和同事共事，其中很多人都已成为我们的朋友。很多的成绩都是大家共同努力的结果，我们坚信，大家共同完成的很多工作意义非凡。在此，我们向他们所有人深表感谢。向 Jenni Raitoharju 和 Stefan Uhlmann 致以诚挚的谢意，感谢他们卓越的贡献。

最后，但同样重要的是，我们希望向心爱的家人表示爱与感激，感谢家人们无条件的爱与理解以及他们在我们生命以及本书成书过程中扮演的重要角色。我们希望将这本书献给我们的孩子：刚出生的女儿

Alya Nickole Kiranyaz, 还是小孩子的儿子 Doruk Ince、Selma 和 Sami Gabbouj。

Serkan Kiranyaz 博士 (教授)

Turker Ince 博士

Moncef Gabbouj 博士 (教授)

2012 年 12 月 坦佩雷

摘要

优化领域由理论和应用完美地融合构成。这一特定领域构成了工程的本质内容，它由一群富有创造性的人创建、发展和广泛应用，我们称这群人为“工程师”。他们竭力研究并解决给定的现实世界的问题或理论的问题，这也是优化在人类社会中随处可见的原因。优化涵盖的领域包括在工程设计、计算机科学、IT 技术甚至经济学中日常使用的工具和机械设备。许多的优化问题通常是多模态的，这会产生迷惑性的局部最优解，从而给工程师们带来更大的挑战。早期的方法，如梯度下降方法，局限性较大，往往陷入局部最优当中，从而导致得到一个次优解。最近的几十年里，为解决这些缺陷，研究人员把注意力转向了随机优化方法尤其是进化算法上。遗传算法和粒子群优化得到广泛研究，尤其是后者，得到更多的关注。然而，许多工程问题的特殊性质要求算法具有动态适应性、能够求解最优解所在的搜索空间的维度以及具备避免陷入局部最优的鲁棒性。

本书探讨了作者在《多维粒子群优化》一书中提出的优化新技术，以求能够得到一种满足上述需求的算法方法，用以解决重要的工程问题。一些更为复杂的问题，通常被描述为最优维度未知的多位搜索空间。这种情况下，多维粒子群优化能够搜索位置和维度上的最优。此外，介绍了两个补充增强方法：分形全局最优构建技术和同时扰动随机逼近，这两种方法能够有效避免陷入局部最优，尤其是高维多模搜索空间的情况。本书使用了一个统一的框架，涵盖了广泛的基础应用领域。例如，对于一个数据聚类问题，在统一的框架下，采用多维粒子

群优化,可以确定真实的聚类数以及准确的聚类中心。又如,在机器智能领域,在统一框架下,采用多维粒子群优化可以确定特定问题的最优神经网络结构。这在对特定的病人进行心电图 (Electrocardiogram, ECG) 跳动模式的鲁棒准确检测中,是至关重要的步骤。读者们将会看到,系统能够通过进化优化分类器适应病人间心电图模式的显著变化,从而在大量的数据中得到更高的准确性。

本书提出的统一框架在一系列充满挑战的应用领域进行了探索,包括数据挖掘和基于内容的多媒体分类。为了在效率和准确性方面达到令人满意的水平,尽管针对后者进行了大量的研究,我们仍然处在早期的发展阶段。为实现基于内容的图像检索 (Content-based Image Retrieval, CBIR) 和分类,书中提出了一种体现了进化分类器集成网络的全局框架设计。这是一种动态自适应的拓扑结构,允许创建和设计能够基于单个视觉描述符从其他图像中辨别出特定种类图像的专用分类器。在一个进化环节中,当给分类器网络发送信号以生成相应的新的网络和分类器时,应能够引入新的图像、类别和特征以动态适应变化。通过这种方式,集成分类器网络能够根据保留图像内容数据的索引要求进行自我缩放,同时获取最大化的分类和检索精度,以提供更好的用户体验。然而,一个问题是,低水平的特征在图像检索中扮演了重要角色,但它们通常缺少用于准确的视觉描述和表达所需的分辨力,在大量的动态图像数据储备的情况下更是如此。最后,本书为解决主要的研究目标,提出了一个进化特征综合框架,旨在通过合成高度判别特征来显著提高分辨力。显然,该方法不仅限于基于内容的图像搜索,也能够用于涉及特征或特征提取的任意应用领域的合成增强特征中。

书中论述了多维粒子群优化在不同应用领域的应用,给出了探索多维粒子群优化应用于工程或其他学科的潜在领域的方法。本书通过C/C++ 源代码对算法进行了补充说明,并提供了大量的样本数据集来对书中提出的概念进行阐释。这使得从业人员和专业人员能够理解和使用这些技术,并能够快速地将这些技术应用于其相应的专业领域中。

缩略语

2D	Two Dimensional	二维
AAMI	Association for the Advancement of Medical Instrumentation	医疗仪器发展促进会
AC	Agglomerative Clustering	凝聚聚类
ACO	Ant Colony Optimization	蚁群优化
aGB	Artificial Global-Best	人工全局最优
AI	Artificial Intelligence	人工智能
ANN	Artificial Neural Network	人工神经网络
API	Application Programming Interface	应用程序接口
AS	Architecture Space	结构空间
AV	Audio-Visual	视音频
BbNN	Block-based Neural Networks	基于块的神经网络
BP	Back Propagation	反向传播
bPSO	Basic PSO	基本粒子群优化
CBIR	Content-Based Image Retrieval	基于内容的图像检索
CGP	Co-evolutionary Genetic Programming	协同进化遗传规划
CLD	Color Layout Descriptor	颜色布局描述符
CM	Color Moments	颜色矩
CNBC	Collective Network of Binary Classifiers	二进制分类器集成网络
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
CV	Class Vector	类别向量
CVI	Clustering Validity Index	聚类有效性指数
DC	Dominant Color	主色

DE	Differential Evolution	差分进化
DFT	Discrete Fourier Transform	离散傅里叶变换
DLL	Dynamic Link Library	动态链接库
DP	Dynamic Programming	动态规划
EA	Evolutionary Algorithm	进化算法
ECG	Electrocardiogram	心电图
ECOC	Error Correcting Output Code	纠错输出编码
EFS	Evolutionary Feature Syntheses	进化特征合成
EHD	Edge Histogram Descriptor	边缘直方图
EM	Expectation-Maximization	期望最大化
ENN	Evolutionary Neural Networks	进化神经网络
EP	Evolutionary Programming	进化规划
ES	Evolution Strategies	进化策略
FCM	Fuzzy <i>C</i> -means	模糊 <i>C</i> 均值聚类
FDSA	Finite Difference Stochastic Approximation	有限差分随机逼近
FeX	Feature Extraction	特征提取
FF	Fundamental Frequency	基频
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅里叶变换
FGBF	Fractional Global Best Formation	分形全局最优构建
FT	Fourier Transform	傅里叶变换
FV	Feature Vector	特征向量
GA	Genetic Algorithm	遗传算法
GB	Global Best	全局最优
GLCM	Gray Level Co-occurrence Matrix	灰度共生矩阵
GMM	Gaussian Mixture Model	高斯混合模型
GP	Genetic Programming	遗传规划
GTD	Ground Truth Data	真值数据
GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
HMM	Hidden Markov Model	隐马尔可夫模型
HSV	Hue, Saturation and (Luminance) Value	色调、饱和度和(亮度)值
HVS	Human Visual System	人眼视觉系统
KF	Key-Frame	关键帧
KHM	K-Harmonic Means	K 调和均值
KKT	Karush-Kuhn-Tucker	库恩-塔克条件(即随机扰动条件)
KLT	Karhunen-Loève Transform	卡洛变换
kNN	k Nearest Neighbours	k 近邻
LBP	Local Binary Pattern	局部二值模式
LP	Linear Programming	线性规划

MAP	Maximum a Posteriori	最大后验概率估计
MDA	Multiple Discriminant Analysis	多元判别分析
MD PSO	Multi-dimensional Particle Swarm Optimization	多维粒子群优化
ML	Maximum-Likelihood	最大似然
MLP	Multilayer Perceptron	多层感知器 (机)
MPB	Moving Peaks Benchmark	移动峰基准
MRF	Markov Random Field	马尔可夫随机场
MSE	Mean-Square Error	均方差
MST	Minimum Spanning Tree	最小生成树
MUVIS	Multimedia Video Indexing and Retrieval System	多媒体视频索引与检索系统
NLP	Nonlinear Programming	非线性规划
P	Precision	精确度
PCA	Principal Component Analysis	主成分分析
PNR	Positive to Negative Ratio	正负比
PSO	Particle Swarm Optimization	粒子群优化
R	Recall	回调
RBF	Radial Basis Function	径向基函数
RF	Random Forest	随机森林
RGB	Red, Green and Blue	红绿蓝
SA	Stochastic Approximation	随机逼近
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成孔径雷达
SCD	Scalable Color Descriptor	可伸缩颜色描述符
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform	尺度不变特征变换
SLP	Single-Layer Perceptron	单层感知器
SO	Stochastic Optimization	随机优化
SOC	Self-Organized Criticality	自组织临界性
SOM	Self-Organizing Maps	自组织映射聚类分析
SPSA	Simultaneously Perturbed Stochastic Approximation	同时扰动随机逼近
SVEB	Supra-ventricular Ectopic Beats	超室性早搏
SVM	Support Vector Machines	支持向量机
TI-DWT	Translation-Invariant Dyadic Wavelet Transform	平移不变的二进小波变换
QP	Query Path	查询路径
UI	User Interface	用户接口
VEB	Ventricular Ectopic Beats	室性异位搏动

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 最优化历史发展	2
1.2 核心问题	4
1.3 本书内容简介	7
参考文献	10
第 2 章 最优化技术概述	12
2.1 最优化技术的历史	12
2.2 确定性分析方法	29
2.2.1 梯度下降法	30
2.2.2 牛顿 - 拉普森迭代法	31
2.2.3 Nelder-Mead 搜索方法	32
2.3 随机方法	33
2.3.1 模拟退火算法	33
2.3.2 随机逼近方法	36
2.4 进化算法	37
2.4.1 遗传算法	37
2.4.2 差分进化算法	40
参考文献	43

第 3 章 粒子群优化算法	45
3.1 引言	45
3.2 基本粒子群优化算法	47
3.3 粒子群优化算法的一些变体形式	50
3.3.1 部落	52
3.3.2 多群	53
3.4 应用领域	55
3.4.1 非线性函数最小化	56
3.4.2 数据聚类	57
3.4.3 人工神经网络	62
3.5 程序注解与软件开发包	75
参考文献	81
第 4 章 多维粒子群优化算法	86
4.1 多维度研究的需要	86
4.2 基本思想	88
4.3 多维粒子群优化算法	90
4.4 程序注解与软件包	95
4.4.1 PSO_MDlib 应用程序中的多维粒子群优化操作	95
4.4.2 PSOTestApp 应用程序中的多维粒子群优化操作	97
参考文献	104
第 5 章 改进全局收敛性	105
5.1 分形全局最优构建	106
5.1.1 研究动机	106
5.1.2 基于 FGFBF 的粒子群优化	107
5.1.3 基于 FGFBF 的多维粒子群优化	108
5.1.4 非线性函数最小化	109
5.2 动态环境的最优化方法	122
5.2.1 动态环境: 试验台	122
5.2.2 多群粒子群优化	123
5.2.3 基于 FGFBF 的移动峰问题的移动峰基准	124
5.2.4 多维移动峰函数的优化	125

5.2.5	常规移动峰函数性能评估.....	126
5.2.6	多维移动峰函数性能评估.....	130
5.3	谁将指导指南.....	134
5.3.1	随机扰动同时逼近方法概述.....	136
5.3.2	同时逼近驱动的粒子群优化和 多维粒子群优化算法.....	137
5.3.3	非线性函数最小化的应用.....	142
5.4	回顾与总结.....	147
5.5	程序注解与软件包.....	149
5.5.1	FGBF 在 PSO_MDlib 应用程序中的操作.....	149
5.5.2	分形全局最优构建多维粒子优化 在 MPB 中的应用.....	152
	参考文献.....	155

第 6 章 动态数据聚类..... 159

6.1	基于分形全局最优构建的多维粒子群优化方法在 动态数据聚类中的应用.....	160
6.1.1	理论.....	160
6.1.2	二维综合数据集的结果.....	163
6.1.3	回顾与总结.....	167
6.2	主色提取.....	168
6.2.1	研究动机.....	168
6.2.2	HSV-HSL 颜色域模糊模型.....	170
6.2.3	主色提取结果.....	172
6.2.4	回顾与总结.....	177
6.3	随机逼近驱动的多维粒子群优化的动态数据聚类.....	179
6.3.1	基于随机逼近驱动的多维粒子群优化的 二维数据集动态数据聚类.....	179
6.3.2	总结与回顾.....	183
6.4	程序注解与软件包.....	184
6.4.1	二维聚类的分形全局最优构建操作.....	184
6.4.2	主色提取在 PSOTestApp 应用程序中的应用.....	193
6.4.3	同时逼近驱动在 PSOTestApp 应用程序中的操作..	195

参考文献.....	199
第 7 章 进化人工神经网络	201
7.1 人工神经网络优化算法的综述.....	202
7.2 基于多维粒子群优化的进化神经网络	204
7.2.1 人工神经网络粒子群优化算法：早期尝试	204
7.2.2 基于多维粒子群优化的进化神经网络	205
7.2.3 合成问题的分类结果	207
7.2.4 医疗诊断的分类结果	214
7.2.5 参数敏感性和计算复杂性分析	217
7.3 适于极化合成孔径雷达图的进化径向基函数分级器	219
7.3.1 极化合成孔径雷达数据处理	221
7.3.2 合成孔径雷达分类结构	223
7.3.3 测定合成孔径雷达分类结果	225
7.4 总结.....	231
7.5 编程语言和软件包	232
参考文献.....	245
第 8 章 个体心电图分类	252
8.1 基于进化神经网络的心电图分类.....	254
8.1.1 简介与研究动机.....	254
8.1.2 心电图数据处理.....	256
8.1.3 实验结果.....	260
8.2 动态心电图记录的分类.....	265
8.2.1 研究概况.....	266
8.2.2 个体长期心电图分类：系统性的方法.....	267
8.2.3 实验结果.....	271
8.3 回顾与总结	274
8.4 程序注解与软件包	276
参考文献.....	278
第 9 章 基于两类分类器集合网络的图像分类与检索.....	282
9.1 基于内容的图像检索的发展概况	283

9.2 基于内容的图像分类和检索框架.....	285
9.2.1 框架概览.....	286
9.2.2 结构空间的进化更新.....	287
9.2.3 基于两类分类器集合网络的分类器框架.....	288
9.3 结果与讨论.....	293
9.3.1 数据库创建与特征提取.....	294
9.3.2 分类结果.....	294
9.3.3 CBIR 结果.....	301
9.4 回顾与总结.....	304
9.5 程序注解与软件包.....	304
参考文献.....	322
第 10 章 演进特征的综合.....	324
10.1 引言.....	325
10.2 特征综合与选择概述.....	326
10.3 演进特征合成框架.....	328
10.3.1 研究动机.....	328
10.3.2 演进特征合成框架.....	330
10.4 仿真结果与讨论.....	335
10.4.1 判别与分类的性能评估.....	336
10.4.2 基于内容的图像检索的比较性能评估.....	338
10.5 程序注解与软件包.....	344
参考文献.....	354