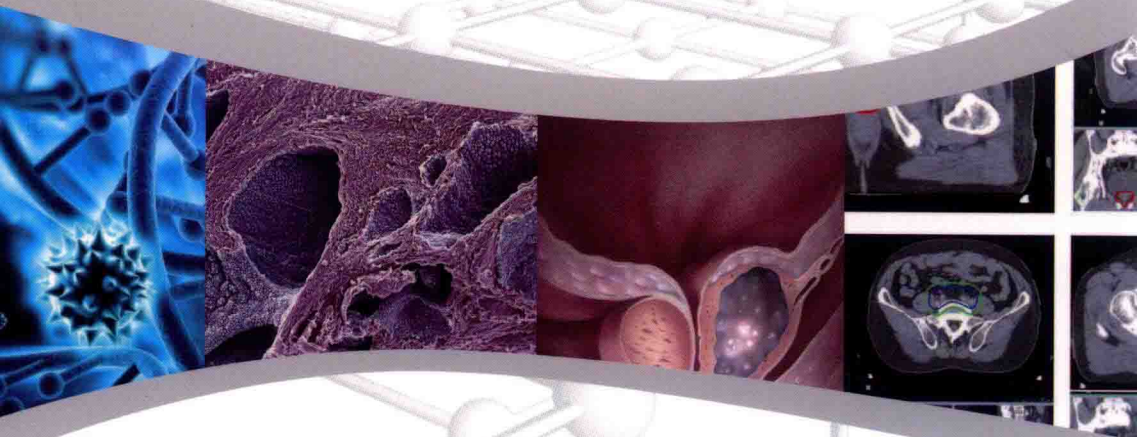


基于深度学习的 医学图像数据 可视化分析与处理

强彦 著



科学出版社

基于深度学习的医学图像数据 可视化分析与处理

强彦 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书融合当前模式识别、人工智能技术的发展和作者科研实践的研究成果,详细描述了基于深度学习的医学图像数据可视化分析与处理的几个关键部分。包括对 CT 影像进行三维重建,还原检测物体的三维结构,进而对三维结构进行可视化分析;利用深度学习、深度信念网络、卷积神经网络和极限学习机等技术提取特征,进而对肺结节良恶性进行分类。本书从多种技术出发,详细介绍了多方面的算法描述、实验结果和结果分析,力求向读者展示出医学图像数据分析、识别和可视化处理相关技术的最新研究动态,希望能为从事相关研究的广大读者提供参考,对医学图像处理、深度学习技术的发展起到推动作用。

本书可作为高等院校图像分析、模式识别、可视化、人工智能和深度学习相关专业的教材,也可供专门从事智能信息处理、人工智能领域的科研人员和应用人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于深度学习的医学图像数据可视化分析与处理 / 强彦著. —北京: 科学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-03-057136-6

I. ①基… II. ①强… III. ①医学图像—图像处理 IV. ①R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 075580 号

责任编辑: 常晓敏 / 责任校对: 马英菊

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2019 年 1 月第一次印刷 印张: 13 1/2

字数: 254 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈中科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135927-8022

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

序 一

本书反映了在大数据时代，如何充分利用人工智能、深度学习方法，分析处理海量且复杂的医学图像大数据，为临床医学中各种重大疾病的筛查、诊断、治疗计划、治疗图像引导、疗效评估和随访提供科学方法和先进技术，这是图像分析、理解的科学问题和人工智能前沿关键技术。本书针对计算机断层扫描影像进行研究，结合海量临床诊断确诊病例，提出肺部医学图像的跨维度分割方法，探索肺结节医学图像的自动检测方法，研究医学征象和图像哈希检索方法的融合，探索了一系列最新的深度学习网络在医学图像处理 and 识别领域的适应性，是国内基于深度学习的医学图像数据可视化分析与处理方面较为全面的一本书籍。本书是作者从事医学图像处理和人工智能研究经验的总结，已得到同行的赞许及好评，将对我国医学图像处理、可视化和计算机辅助诊断技术的发展起到重要推动作用。

教育部“长江学者”特聘教授

中国体视学会常务理事、图像分析分会主任

张艳宁

序 二

近年来,我国计算机应用技术奋起直追,尤其在医学病症辅助诊断等相关领域探索了一条自主研发的道路。本书是作者从事深度学习技术和数据可视化分析研究工作的总结,书中对基于肺癌早期计算机辅助诊断几个重要阶段的关键技术进行了阐述,为我们展现了CT医学图像在模式识别方面所涉及的重要研究成果,该研究尤其适用于肺癌这一全球关注的问题。本书将跨维度的图像分割方法、肺部病灶图像的快速哈希检索方法、肺部病灶图像的多角度多层次深度学习模型用于肺结节识别与检测、肺结节良恶性分类、诊断预测模型等,作为跨学科的研究成果,对计算机辅助诊断、图像处理、机器学习、大数据处理、影像学、临床医学等多个方面具有一定的理论意义和学术价值。跨学科不易,提出适应于不同学科复杂问题的精细方法更不易,希望本书的出版能对从事相关课题研究的科学工作者们以最大的鼓励。

中国科学院计算技术研究所 研究员

张云泉

前 言

深度学习于 2006 年，由加拿大多伦多大学教授、机器学习领域的泰斗 Geoffrey Hinton 和他的学生 Ruslan Salakhutdinov 提出，开启了深度学习在学术界和工业界的研发和应用。深度学习是机器学习研究中一个新的领域，也是机器学习的重要方法之一，其动机在于建立模拟人脑进行分析学习的神经网络来促进机器学习，它模仿人脑的机制来分析、处理、筛选各种数据，例如图像、声音、视频和感知等。

可视化是利用计算机图形学和图像处理技术，将数据转换成三维图形或图像在屏幕上显示出来，并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域，成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术。目前正在飞速发展的虚拟现实技术也是以图形图像的可视化技术为依托的。

在大数据时代，如何充分利用人工智能、深度学习方法分析处理海量而复杂的医学图像大数据，为临床医学中各种重大疾病的筛查、诊断、治疗计划、治疗图像引导、疗效评估和随访提供科学方法和先进技术，这是当前医学图像分析领域亟须解决的重大科学问题和前沿医学影像关键技术。

本书针对计算机断层扫描影像进行研究，结合海量临床诊断确诊病例，提出肺部医学图像的二维及三维分割方法，并利用三维形状指数及其他三维特征实现肺结节的自动检测；研究并提出了基于医学征象和卷积神经网络的肺结节 CT 图像哈希检索方法；提出了基于深度信念网络和卷积神经网络的肺结节检测模型并进一步实现良恶性分类；同时针对孤立性肺结节提出了深度自编码结合极限学习机的分类方法，是国内基于深度学习的医学图像数据可视化分析与处理方面较为全面的一本书籍。

本书是作者从事深度学习技术和数据可视化分析相关研究的总结，书中部分内容参考了国内外同行近年来在该研究领域各方面取得的最新成果，所

列部分算法是在相关理论系统基础算法上的改进和拓展，或可供读者在科学研究和科技应用方面做参考。

本书是作者在科研项目“基于长时程 CT 影像的肺部病灶生长演变规律建模及早期肺癌智能诊断研究”（国家自然科学基金项目，61872261）、“面向工作的可视分析理论与应用研究”（国家自然科学基金项目，61572344）和“基于深度学习的大规模 CT 图像检索方法研究”（虚拟现实国家重点实验室项目，VRLAB2018B07）等项目最新研究成果的总结，并经过不断改进和完善，最后凝练而成的。

本书在撰写过程中得到了赵涓涓、肖小娇、张娅楠、赵鹏飞、董林佳、崔强、张伟、杨晓兰、张婷、宋云霞和赵鑫等相关专家和相关项目组成员的大力支持和协助，在此表示衷心的感谢！

由于作者学识有限，加上计算机科学技术发展很快，书中不妥之处在所难免，作者诚恳地希望各位专家和读者不吝指教和帮助。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 医学影像可视化分析	1
1.2 医学影像处理	2
1.3 深度学习技术	3
1.4 基于深度学习的肺结节计算机辅助诊断技术	3
1.5 本书的结构	4
第 2 章 肺部医学图像的二维分割	6
2.1 基础概念与理论	6
2.2 基于超像素和自生成神经森林的肺实质序列图像分割方法	8
2.2.1 肺实质分割	8
2.2.2 肺实质聚类	10
2.2.3 肺实质序列图像分割	11
2.2.4 分割方法结果	12
2.2.5 分割时间	13
2.3 改进 GAC 模型肺部薄扫 CT 序列图像分割法	14
2.3.1 初始轮廓的构造	15
2.3.2 肺实质分割	16
2.3.3 肺实质序列的分割效果	18
2.3.4 实验结果与分析	19
2.4 肺部薄扫 CT 序列图像的肺结节分割方法	19
2.4.1 超像素序列图像分割算法	20
2.4.2 聚类起始块和聚类阈值的确定	21
2.4.3 改进的 DBSCAN 超像素序列图像聚类算法	24
2.4.4 分割结果	25
2.4.5 实验结果与分析	28
2.5 血管粘连型肺结节序列图像的分割方法	30
2.5.1 预处理	30
2.5.2 改进的超像素序列分割	31
2.5.3 超像素样本特征提取	32
2.5.4 距离约束稀疏子空间聚类	36
2.5.5 血管粘连型肺结节的分割结果	37

2.5.6	实验结果与分析	37
2.6	本章小结	39
第3章	肺部医学图像的三维分割和检测	40
3.1	基础概念与理论	40
3.2	基于多模态数据和超体素的肺结节图像三维分割方法	41
3.2.1	肺结节区域提取	41
3.2.2	肺结节区域分割与重建	43
3.2.3	不同类型肺结节的分割	44
3.2.4	3D 分割结果的分析	47
3.3	基于 3D 特征的肺结节自动检测方法	47
3.3.1	肺实质序列图像的分割	48
3.3.2	结节和血管模型	50
3.3.3	结节血管增强滤波器	52
3.3.4	高斯函数多尺度计算	54
3.3.5	疑似结节提取	56
3.3.6	肺分割和疑似结节检测结果和分析	59
3.3.7	特征提取结果	60
3.3.8	SVM 分类结果与分析	63
3.4	基于三维形状指数的肺结节自动检测方法	66
3.4.1	肺部序列 CT 图像预处理	67
3.4.2	三维肺结节类球形滤波器构建	68
3.4.3	构建类球形滤波器结节检测函数	71
3.4.4	实验平台及数据	73
3.4.5	检测结果及分析	73
3.5	本章小结	76
第4章	肺部病灶图像的快速检索	77
4.1	基础概念与理论	77
4.2	基于有监督哈希的肺结节 CT 图像检索	79
4.2.1	获取 ROI 图像	79
4.2.2	多特征提取	79
4.2.3	构造哈希函数	80
4.2.4	查询图像的检索	82
4.2.5	实验数据	83
4.2.6	肺结节特征量化	83
4.2.7	参数讨论及分析	84
4.3	基于医学征象和卷积神经网络的肺结节 CT 图像哈希检索	86

4.3.1	构造训练集准确的二值码	86
4.3.2	肺结节重要语义特征提取	87
4.3.3	哈希函数的学习	88
4.3.4	肺结节的检索过程	89
4.3.5	实验数据集与实验设置	90
4.3.6	参数讨论及分析	91
4.4	基于多层次语义特征和加权哈希码的肺结节 CT 图像检索	95
4.4.1	提取肺结节的重要语义特征	96
4.4.2	构造哈希函数	97
4.4.3	基于 LS 的多标签优化	97
4.4.4	基于 PCA 投影的数据降维	98
4.4.5	待查询肺结节的自适应检索	99
4.4.6	哈希函数的参数讨论	100
4.5	基于征象标签的肺结节图像检索	103
4.5.1	图像预处理	103
4.5.2	构建双概率超图	104
4.5.3	基于概率超图的光谱哈希	105
4.5.4	查询样本检索	106
4.5.5	检索精度结果及分析	106
4.6	基于深度哈希的肺结节图像检索	110
4.6.1	提取图像深度特征	110
4.6.2	稀疏有监督哈希	112
4.6.3	检索结果	112
4.7	本章小结	114
第 5 章	基于深度信念网络的肺结节分类模型	115
5.1	基础概念与理论	115
5.1.1	受限玻尔兹曼机理论	115
5.1.2	马尔可夫链蒙特卡罗方法	117
5.1.3	Gibbs 采样	118
5.1.4	对比散度算法	119
5.2	基于深度信念网络的肺结节良恶性分类方法	120
5.2.1	构建数据集	120
5.2.2	深度信念网络 (PndDBN-5) 的构建及训练	121
5.2.3	DBN 层数分析	122
5.2.4	隐含层节点数分析	122
5.2.5	RBM 的学习率分析	123

5.3	改进的深度信念网络肺结节良恶性分类方法	124
5.3.1	数据预处理	125
5.3.2	改进的深度信念网络 (Pnd-EDBN) 的构建	126
5.3.3	改进的深度信念网络 (Pnd-EDBN) 的训练	127
5.3.4	隐含层数分析	128
5.3.5	隐含层数节点组合	129
5.3.6	交叉熵稀疏惩罚因子	131
5.4	基于多视角深度信念网络的肺结节检测方法	133
5.4.1	肺结节疑似区域提取	134
5.4.2	构建 2.5 维结构	135
5.4.3	DBN 训练过程	135
5.4.4	参数设置	136
5.4.5	融合策略分析	136
5.4.6	循环次数分析	138
5.4.7	不同方法对比及讨论	139
5.5	本章小结	140
第 6 章	基于卷积神经网络的肺结节检测与分类	141
6.1	基础概念与理论	141
6.1.1	卷积与反卷积理论	141
6.1.2	降采样 (池化) 理论	142
6.1.3	激活函数	143
6.2	基于卷积神经网络的肺结节检测模型	143
6.2.1	数据预处理	144
6.2.2	卷积神经网络的肺结节检测 (PndCnn-7) 模型	145
6.2.3	正向传播	146
6.2.4	误差反向传播	146
6.2.5	检测的评价指标	146
6.2.6	PndCnn-7 模型参数调整	147
6.3	基于卷积神经网络和主成分分析法结合的肺结节特征提取方法	150
6.3.1	数据预处理	151
6.3.2	特征提取	151
6.3.3	特征选择	152
6.3.4	特征提取模型的训练	153
6.3.5	不同特征的分类对比	155
6.4	基于多输入卷积神经网络肺结节检测模型	155
6.4.1	数据预处理	156

6.4.2	多输入卷积神经网络	158
6.4.3	实验结果与分析	159
6.5	基于卷积和反卷积神经网络肺部微小结节的检测模型	161
6.5.1	卷积反卷积神经网络模型构建	162
6.5.2	检测结果与分析	163
6.6	本章小结	166
第 7 章	深度自编码结合极限学习机的孤立性肺结节分类诊断	167
7.1	基础概念与理论	167
7.1.1	深度自编码基础	167
7.1.2	极限学习机的概念	171
7.1.3	局部感受野基础知识	173
7.2	基于栈式极限学习机的肺结节分类及诊断方法	173
7.2.1	数据预处理	173
7.2.2	基于栈式极限学习机的肺结节分类方法框架	175
7.2.3	深度自编码网络构建	176
7.2.4	网络检测结果及分析	178
7.2.5	网络评价指标及分析	179
7.3	基于双模态深度极限学习机的自编码肺结节诊断方法	180
7.3.1	数据半监督预处理	181
7.3.2	限制差分权重优化方法	181
7.3.3	深度极限学习机的降噪自编码网络构建	183
7.3.4	多模态特征的融合和分类	184
7.3.5	分类性能分析	185
7.3.6	不同诊断方法的分析	187
7.4	基于半监督自编码的孤立性肺结节检测	188
7.4.1	局部感受野的多特征学习	188
7.4.2	融合临床信息的深度半监督稀疏自编码	190
7.4.3	融合临床信息的栈式稀疏自编码	192
7.4.4	实验及结果分析	193
7.5	本章小结	194
参考文献		196

第 1 章 绪 论

肺癌是当今死亡率最高的恶性肿瘤 (Lakshmi et al., 2017), 主要原因是肺部疾病种类繁多且其影像显示复杂多样, 导致难以诊断。计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 技术已成为当今肺癌常规检查的主要手段, 同时, 计算机辅助诊断系统以其计算的高速度、自动处理的相关能力, 通过对 CT 影像数据中肺结节相关区域的特征提取、分类和判断, 让图像可以尽可能准确地反映真实病情, 帮助医师更准确地发现肺癌以及进行更客观的诊断。三维影像信息从另外一个角度提供给医师更直观的视觉效果, 在对肺癌诊断的过程中起着不可替代的作用。

随着肺部疾病种类的增多、患病人数的不断增长及影像学技术的不断发展, X 射线成像、CT 扫描、增强 CT 检查、正电子发射型计算机断层显像 (positron emission computed tomography, PET) 扫描和核磁共振成像 (nuclear magnetic resonance imaging, MRI) 技术 (Zaidi et al., 2016) 的不断完善, 以及计算机存储和计算能力的不断升级, 医师诊断肺部疾病的多模态影像、病历、病理、阶段性诊断报告等临床数据呈爆炸式增长 (Soltani et al., 2015), 面对海量的肺部疾病影像资料, 需要大量的、有经验的、不知疲倦的、状态持续稳定的医师完成诊断, 否则发生误诊和漏诊情况将较多。人们迫切想找到有效的方法或技术将医师固有的经验、能力和计算机独有的高速处理大规模图像的能力融为一体。

人工智能技术、大数据深度挖掘和计算模型优化的结合, 大大提高了计算机辅助诊断 (computer aided diagnosis, CAD) 在肺癌自动诊断方面的应用, 其研究方向正在朝着机器学习算法转变。因此, 本书的研究主要是在已有肺部 CT 影像数据的基础上, 利用深度学习等技术, 实现对肺结节的自动诊断以及进行较为基础的预测。

1.1 医学影像可视化分析

CT 技术对人体肺部病灶具有良好的密度分辨能力, 是目前肺癌早期诊断中最有效、最直接的影像学技术。现如今, 大多数的研究致力于二维图像的分割和检测, 但是二维图像只能显示某个切片的肺结节信息, 为了更好地对肺部图像进行分析, 对感兴趣区域 (region of interest, ROI) 的形状、大小、方向和位置进行研究, 提出了将二维平面图像进行三维立体重建的方法。

CT 影像的三维重建是由一系列二维 CT 图像通过计算机算法设计, 还原检测物体的三维结构, 进而对三维结构进行可视化分析, 并将二维超像素的概念推广到三维超体素上。超体素是由一系列具有相似特征的空间中相邻的体素点组成的

集合，且集合中体素的特征具有一致性，这些超体素可以保留原始序列图像的边界信息，具有多个体素的统计和特征信息。将三维区域增长法应用于肺结节的三维重建，从某个种子点出发，通过区域增长规则，将满足规则的体素合并到种子区域。利用肺结节序列图像的序列特征，自动选取种子点并在其六邻接区域中根据提出的相似度函数进行超体素区域增长，实现肺结节的三维可视化。从而可以直观地对三维肺结节图像进行分析，得出肺部病灶区域的外观特征，为医师提供辅助诊断方法。

1.2 医学影像处理

计算机辅助诊断系统是指综合运用计算机图像处理技术、人工智能算法以及医学影像技术，协助医师快速发现医学影像中的病灶区域，提高病灶区域检测的灵敏度和准确率。通过分析大量图像数据，提供定量的分析结果，自动区分病变组织的良恶性，从而提高临床肺部疾病的诊断结果的准确率。传统的肺结节 CAD 系统通常包括 4 个主要阶段：肺实质分割、候选结节的检测、特征提取和选择、肺结节良恶性诊断。显然，整个系统的分类很大程度上依赖于图像处理的中间结果，并且肺实质的精确分割是后续肺结节检测和分类的关键。基于肺部医学影像 CAD 系统的一般处理流程如图 1-1 所示。

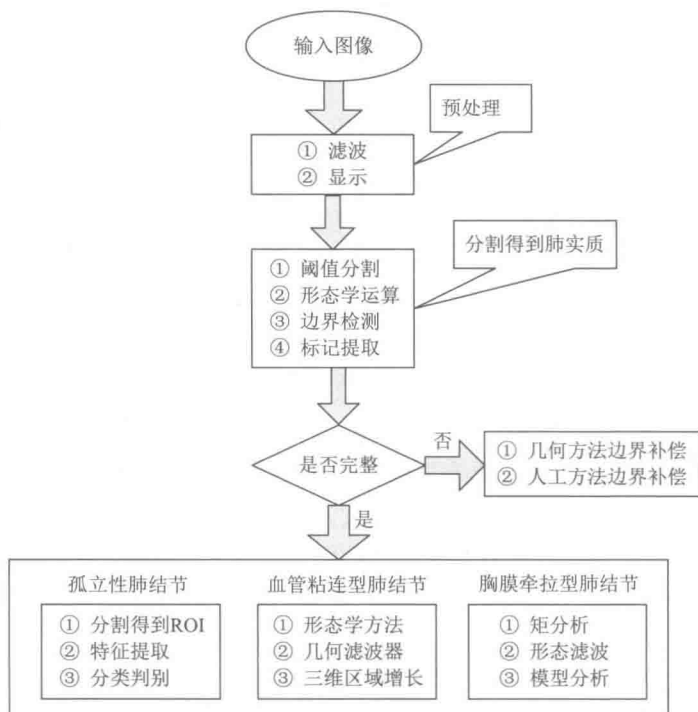


图 1-1 基于肺部医学影像 CAD 系统的一般处理流程

1.3 深度学习技术

随着完整的 BP (back propagation, 反向传播) 算法在 20 世纪 80 年代被 Rumelhart、Hinton 和 Williams 等提出 (Hinton et al., 1986), 神经网络一度成为各个学者学习和研究的方向。深度学习 (deep learning) 是由 Hinton 等于 2006 年在 *Science* 中提出的 (Hinton et al., 2006), 其在神经网络的基础上扩展了计算层, 使网络具有能够在大数据中进行更高层次地提取和预测的能力。

深度学习的概念起源于人工神经网络 (artificial neural network, ANN), 但又区别于人工神经网络, 当前神经网络的学习算法多是针对较低水平的网络结构, 属于浅层结构神经网络, 而深度网络学习是非线性运算的高水平组合。从仿生学角度来说, 深度学习与大脑皮层类似, 都是对输入数据通过非线性的方式进行多层次处理, 即通过自下而上的非监督学习方式和自上而下的监督学习方式进行训练, 用每一层网络提取输入数据的特征, 而且随着层数的增加, 特征越来越抽象。因此深度学习比浅层学习具有更好的特征表示能力。

近年来, 随着国内外学者对肺结节诊断的深入研究, 以及图像识别技术的发展, 基于深度学习的自动学习特征和分类模型成为一种研究趋势。深度学习技术在肺结节诊断方面的研究, 从单一深度网络到多角度深度网络、多尺度网络, 研究者们通过肺结节 CT 图像来进行诊断。多角度则是从肺结节不同三维切割面提取肺结节的高阶特征, 多尺度是提取肺结节在不同尺度大小下的高阶特征。

1.4 基于深度学习的肺结节计算机辅助诊断技术

基于深度学习的肺结节 CAD 系统很好地解决了传统 CAD 系统中特征提取困难、烦琐等问题。深度学习技术通过学习训练图像低层特征, 形成更加抽象的高层特征, 发现图形图像的分布式特征, 而不用经过一系列复杂的图像预处理过程和对特征的提取和选择。深度学习代表技术有: 深度信念网络、卷积神经网络和极限学习机等。

深度信念网络 (deep belief network, DBN) 是一种仿生物神经网络结构的概率模型, 具有良好的特征学习能力。DBN 的优势在于其通过多个受限玻尔兹曼机由低到高训练, 完成对原始数据由浅到深的特征提取, 从而避免了人工特征提取与选择的复杂过程, 增强对数据识别的智能性。DBN 可以看成是由多个受限玻尔兹曼机堆叠构成的, 因此, DBN 的训练可简化为若干个受限玻尔兹曼机自下而上的逐层学习过程。

卷积神经网络 (convolutional neural networks, CNNs) 是一种非常重要的神经网络结构, 是典型的深度学习模型。近年来, 卷积神经网络在图像和语音识别

领域取得了重要进展，其优点是具有较强的适用性。当训练新的样本时，只需要在旧的深度学习模型基础上，调整隐含层节点的权值即可。CNNs 可以将原始图像的输入和网络的输出转换为非线性表示，肺部 CT 图像可以直接作为卷积神经网络的输入，减少了图像的预处理操作。因此，应用 CNNs 进行肺结节检测是可行的。

极限学习机（extreme learning machine, ELM）作为自编码网络的编码算法，对肺结节图像从低阶到高阶进行有效的特征提取。极限学习机是一种执行速度快、泛化能力强的单隐层前馈神经网络算法，其训练过程只需要设置网络中隐含层节点个数，不需要对网络的输入权值以及隐含层神经元的偏置进行调整，且最终能产生唯一最优解。

1.5 本书的结构

本书共分为 7 章，各章节的安排如下。

第 1 章，绪论。本章阐述了深度学习技术在 CT 图像进行二维、三维分割，以及肺结节三维可视化等领域的应用，并对本书的内容进行了介绍。

第 2 章，肺部医学图像的二维分割。在医学图像处理技术中，图像的分割将体内的正常或者异变组织、器官从复杂的影像中单独提取出来，有助于对疾病进行定量分析、放射治疗、手术引导、信息评估等，同时也是医学三维建模过程的前提条件。本章阐述了若干在医学图像的二维序列中分割肺实质和肺结节的方法，为医学图像的精准分割和后续三维建模提供了保证。

第 3 章，肺部医学图像的三维分割和检测。在三维空间中对肺结节进行分割与检测，其目的是去除在肺结节的检测过程中，由于血管的密度、CT 值等与结节的相似，在肺实质区域中部分结节和血管交叉等问题，导致结节的检测敏感性不高，存在较高的假阳性以及结节的检测准确率较低。本章充分分析结节和血管在三维图像中形状结构的差异性，提出了基于多模态数据和超体素的肺结节图像三维分割方法。在分割得到三维结节的基础上，提出了基于三维特征的肺结节自动检测方法，并通过实验对检测方法的有效性进行评估。

第 4 章，肺部病灶图像的快速检索。肺部病灶图像的快速检索是指利用图像哈希技术和概率超图技术，从海量的历史病灶数据库中，快速找到和当前待诊断病灶类似的已确诊病灶。将待诊断的病灶图像从大规模已确诊的病灶库中快速检索，是医师诊断肺部病灶的重要参考依据，同时也能够为肺部疾病提供相似病例的智能诊断方案。本章阐述了若干肺部病灶图像的快速检索方法，为后续医师进行病灶的诊断提供决策支持。

第 5 章，基于深度信念网络的肺结节分类模型。肺结节检测与良恶性诊断是肺癌辅助诊断系统的两大分类模型。与传统的特征提取方法不同，本章采用基于

深度信念网络方法，自动提取肺部病灶深层特征，实现肺结节的良恶性分类，采用结合极限学习机的改进算法，解决 DBN 全局优化算法在学习训练过程中，易陷入局部最优问题，提取 2.5 维特征、9 个视角全面获得肺结节三维特征，从而解决检测过程中存在的假阳性高的问题，并通过实验证明算法的有效性与准确性。

第 6 章，基于卷积神经网络的肺结节检测与分类。在基于卷积神经网络的肺结节检测和分类模型中，利用卷积神经网络的自主学习，可以实现肺结节的良恶性判断。卷积神经网络作为深度学习的代表方法之一，在特征提取、大样本和自主学习中表现出了许多优势。本章创新地提出了基于卷积神经网络、卷积和反卷积神经网络等模型对肺结节进行检测和分类，并通过实验对模型的有效性进行了验证和测试。

第 7 章，深度自编码结合极限学习机的孤立性肺结节分类诊断。在深度学习大框架下的孤立性肺结节分类方法中，自编码以其无监督的特殊性质，在非线性、小样本和多模态的数据下表现出许多独特的优势。极限学习机以其快速的处理速度，在识别与分类方面都表现极为突出。本章阐述了自编码与极限学习机的基本原理，分析了两者的优势与不足，将两者进行结合，提出了深度自编码结合极限学习机的肺结节分类方法，并以实验证明了其优越性。