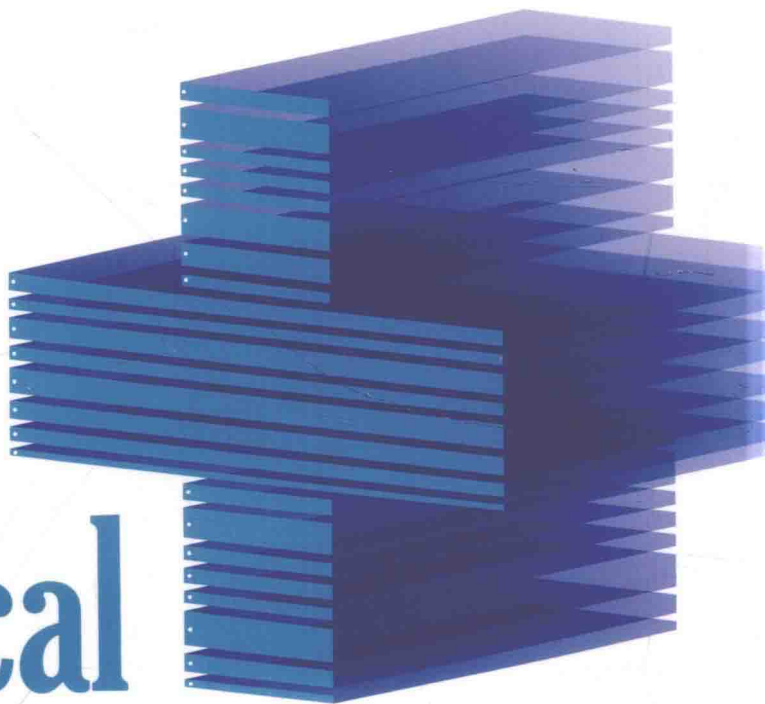


# Big Data Medical



认知科学时代的**医疗智能**

# 大数据**医疗**

徐曼 沈江 余海燕 著



机械工业出版社  
China Machine Press

# 大数据医疗

徐曼 沈江 余海燕 著

## Big Data Medical



机械工业出版社  
China Machine Press

# 图书在版编目 (CIP) 数据

大数据医疗 / 徐曼, 沈江, 余海燕著. —北京: 机械工业出版社, 2017.2

ISBN 978-7-111-55977-1

I. 大… II. ①徐… ②沈… ③余… III. 数据处理—应用—医疗保健事业—研究  
IV. R19-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 023771 号

本书从临床决策数据的获取和传递、知识表示、学习推理和鲁棒性决策的系统整体结构出发, 以决策科学、人工智能、信息论、证据推理等为理论基础, 深入地揭示了大数据驱动的医疗与健康决策支持机理及其在临床诊断过程中的实践。应用“智能病人”机器人、医疗人体数字化仿真系统模拟医疗动态决策集, 与临床诊断结果比较研究, 为多层次医疗决策者提供智能决策支持, 为大数据驱动的医疗鲁棒性决策提供科学依据。

## 大数据医疗

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 程 琨

责任校对: 殷 虹

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 170mm×242mm 1/16

印 张: 27.25

书 号: ISBN 978-7-111-55977-1

定 价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 68995261 88361066

投稿热线: (010) 88379007

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjg@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

# 本书项目基金资助

- 【1】国家自然科学基金面上项目：基于异构数据融合的智能医疗临床决策证据推理研究，NO.71571105；基于鲁棒性原理的医疗决策系统品质与效率研究，NO.71171143
- 【2】国家自然科学基金青年项目：基于 CBR/RBR 融合模式的医疗决策代价敏感性研究，NO.71201087；基于变分证据推理的多尺度决策的病例类别推荐研究，NO.7160010405
- 【3】心脏病急救效率与品质提升研究，深圳富士康科技集团科技基金项目
- 【4】采用多传感器信息融合的嵌入式心脏病急救智能集成系统，天津市科技支撑计划重点项目，No.09ECKFGX00600
- 【5】天津市应用基础研究计划面上项目：基于神经网络混合算法的 N 层异构自适应控制模式及系统，06YFJMJC00900
- 【6】天津市应用基础及前沿技术研究计划：基于感知过程的复杂系统信息融合理论与应用研究，No.10JCYBJC07300

---

## 序 言

---

### 大数据资源成为“第五元素”

移动互联、智能传感器、云计算、机器人等新兴信息通信技术与信息感知方式的发展和变化，深刻地改变着传统医疗与健康服务模式。在这个过程中，医疗数据逐步开放，大数据带来的智能医疗和精准医疗开始涵盖更多方向，在临床操作的比较效果研究、临床决策支持系统、医疗数据透明度、远程病人监控、对病人档案的先进分析等方面发挥更多重要作用。同时，随着区域医疗、移动医疗、转化医学等新兴技术的应用和发展，电子病历、电子健康档案、转化基因、重症监护室中的临床监测数据，甚至可穿戴传感器感知的个人健康状态记录等数据都呈现出爆炸式增长。大数据已成为公认的资源，成为继劳动力、土地、资本、企业家之后的第五大生产要素。

将数据压力转变为数据优势，使数十亿条累积医疗数据成为医生诊疗时可随时调用的标准化医疗决策依据，成为提高诊疗效率、减少可避免的人为失误、缓解医疗资源分布不均问题的有效途径。

### 数字驱动的鲁棒性决策

医疗数据是医生在以患者为中心的诊疗和治疗过程中产生的数据，医疗过程是一个生化过程，其产生的数据量巨大并以异构状态存在，数据特征维度高，且易受环境因素干扰。基于移动互联、医疗云平台的智能医疗系统中，以多态形式存在的数据将通过不同媒介呈现给医生，提高多模态医疗数据的融合效率，实现医疗数据的标准化传递，成为大数据医疗决策鲁棒性的重要问题，也是我国推动以数字化、个性化、一体化、协同化和知识化为特征的智能化医疗服务模式的关键技术保障，而智能决策方法本身也正在从追求计算速度逐渐转变为更多地关注多模态数据融合

中的推理能力、效率与准确性，即鲁棒性决策。

## 患者权利的崛起

患者的医疗决策更多源于其对医疗广告的反应方式，以及对医生的信任，信任对方会给出客观的医疗建议和实施适当的医疗程序。医生、医院和生命科学处于同一产业链上，在利益的驱动下，执行医疗程序的数量有增无减，过度医疗时常发生。患者希望了解更多的医疗知识，从而在治疗过程中掌握更大的决策主动权。

身处强大的社交网络时代，当遇到身体不适的时候，患者也许并不会第一时间到医院就诊寻求专家的意见，而是会将症状作为关键词进行网络搜索。Google 表示每天有数百万用户来搜索他们的症状，甚至搜索量占到了所有搜索条目的 1%。Google 和哈佛医学院以及马约诊所的科研专家进行了深入合作，以实现精准医疗信息检索。大规模的信息共享使得消费者权利正在崛起，患者拥有了选择的权利，拥有了选择的智慧，会带着问题及答案去寻求医生的帮助。大数据与 Web3.0 带来的精准、科学、合法的医疗信息检索服务将帮助患者了解病情，提高医疗的精准咨询，提高患者的知情权。同时这也使得自助医疗、家庭医疗有了实现的机会。

## 架构智能医疗平台

自 1978 年 Sridharam 首次提出采用人工智能方法解决生物医学问题到 2007 年荷兰的国际医学人工智能会议 (AIME) 正式宣告“智能医疗时代到来”，历经几十年的发展。众多国际知名研究机构/实验室，如麻省理工临床决策实验室、哈佛-麻省理工健康科学与技术部、约翰斯·霍普金斯大学医学院以及斯坦福大学生物医学信息研究中心等，其研究领域均涉及运用智能算法如模糊逻辑、神经网络，使医疗决策系统的诊断能力最大限度地逼近专业高水平医师的诊断能力。“智慧地球”之智能医疗体系的倡导者 IBM 一直致力于将智能机器人沃森 (Watson) 用于重大疾病辅助诊断。人工智能、大数据与互联网的结合，产生了智能医疗服务平台，它链接了以往医疗专家间、医院间的信息孤岛，使得处于不同时空的医生得以在同一平台上开展科研协作，寻找治疗突破，互利共赢。

为此，本书从临床医疗数据获取和传递、知识表示、学习推理和鲁棒性决策的系统结构出发，以工业工程、认知科学、人工智能、信息论、证据推理等为理论基础，深入地揭示了大数据驱动的医疗与健康决策的机理及其在临床诊断过程中的实践。应用“智能病人”机器人、医疗人体数字化仿真系统模拟医疗动态决策集，与临床诊断结果比较研究，为多层次医疗决策者提供智能决策支持，为大数据驱动的医疗鲁棒性决策提供科学依据。

全书包括上篇和下篇两个部分，共 22 章。上篇包括第 1~11 章，梳理数据驱

动的智能决策理论；下篇包括第 12~22 章，整合智能医疗决策实践案例，以大数据医疗智能决策为主题，适合医生、医疗机构管理者、医疗政策研究人员、智能医疗产业开拓者与运营管理人员、互联网医疗平台的开发者与设计者、智能决策研究者及计算机领域的专业人士阅读。

书中所涉及的全部理论与实践研究内容得到了国家自然科学基金项目基于鲁棒性原理的医疗决策系统品质与效率研究 (NO. 71171143)、基于异构数据融合的智能医疗临床决策证据推理研究 (NO. 71571105)、基于 CBR/RBR 融合模式的医疗决策代价敏感性研究 (NO. 71201087)、基于变分证据推理的多尺度决策的病例类别推荐研究 (NO. 7160010405)、天津市科技支撑计划重点项目采用多传感器信息融合的嵌入式心脏病急救智能集成系统 (No. 09ECKFGX00600)、天津市应用基础及前沿技术研究计划：基于感知过程的复杂系统信息融合理论与应用研究 (No. 10JCYBJC07300)、深圳富士康科技集团科技基金项目医疗决策效率与品质提升研究等多项基金及计划的资助，凝聚了科研团队近十年的研究心血与成果。感谢南开大学商学院对本书出版的支持，感谢天津大学朱盼盼、甘丹、康宁、张号乾、王艺潼同学为本书的编辑、出版付出的辛勤工作！

在不远的未来，以大数据、云计算、移动互联、人工智能为技术支持所构建的智能医疗服务平台将成为医生的重要工作伙伴，为医生推荐准确的诊疗方案，提供诊疗工具，架构全员、全数据、全流程管理型医疗数据库，并为全面降低误诊漏诊率，减少医疗不良事件的发生，缓解医患矛盾，提升患者满意度，提高普遍医疗水平，解决我国医疗资源匮乏与区域分布不均衡等问题与矛盾做出贡献。Web3.0 及大数据处理技术、人工智能技术在理论及应用领域的迅速发展，智能医疗、互联网医疗、医疗信息检索产业发展迅速，已成为一片广袤蓝海，凸显理论研究重要性的同时，产业界的资本投入也在不断增加。

作者

2017 年 1 月于南开园

序言

## 上篇 基于认知计算的智能医疗决策

### 第 1 章 智能医疗的兴起 //2

- 1.1 人工智能带来全新的医疗体验 //2
- 1.2 大数据催生精准医疗 //3
- 1.3 均衡医疗资源，减少医疗事故 //3
- 1.4 全员、全数据、全 workflow 医疗数据 //5
- 1.5 医疗与健康决策支持 //6
- 1.6 智能诊断的背后 //10
- 1.7 结构与特色 //16
  - 1.7.1 体系结构 //16
  - 1.7.2 特色与创新 //17
- 参考文献 //19

### 第 2 章 医疗服务的品质与效率 //22

- 2.1 基于行为级的管理改善 //22
  - 2.1.1 workflow 管理 //22
  - 2.1.2 人的可靠性 //24
  - 2.1.3 风险的防控 //25
- 2.2 基于逻辑级的鲁棒性决策 //26
  - 2.2.1 鲁棒性优化 //26
  - 2.2.2 鲁棒性推理 //29
- 2.3 基于大数据分析 with 处理的医疗与健康决策支持 //31
  - 2.3.1 异构实体数据的融合 //31



- 2.3.2 多模态数据管理模式 //34
- 2.3.3 大数据分治方法 //36
- 2.4 诊疗智能辅助系统 //37
- 参考文献 //40

### 第3章 智能医疗的本质 //51

- 3.1 数据驱动决策的特征 //51
  - 3.1.1 决策数据的特征 //52
  - 3.1.2 融合推理的特征 //55
- 3.2 融合推理模型构建 //57
  - 3.2.1 融合推理模型要素 //57
  - 3.2.2 融合推理相关命题 //58
  - 3.2.3 基于融合推理的多准则分类决策 //60
- 3.3 融合推理的数据预处理 //61
  - 3.3.1 数据分治 //62
  - 3.3.2 可解释性推理 //62
  - 3.3.3 预处理方法 //64
- 3.4 融合推理的决策鲁棒性分析 //66
  - 3.4.1 融合推理中两类不确定性 //66
  - 3.4.2 决策鲁棒性 //67
  - 3.4.3 推理模型的鲁棒性约束 //68
- 3.5 小结 //69
- 参考文献 //70

### 第4章 医疗急救决策：全员、全流程、全数据空间 //73

- 4.1 背景 //73
- 4.2 心脏病急救决策流程及数据 //74
  - 4.2.1 流程 //74
  - 4.2.2 急救决策推理的网链结构 //74
  - 4.2.3 数据类型 //77
  - 4.2.4 数据的不确定性 //78
  - 4.2.5 不确定性推理 //79
- 4.3 医疗决策全数据空间框架 //80
  - 4.3.1 心脏病急救决策病例维 //80
  - 4.3.2 心脏病急救决策规则维 //83
  - 4.3.3 心脏病急救决策资源维 //85
  - 4.3.4 心脏病急救决策时间窗 //86

- 4.4 医疗决策推理的静态分析 //86
  - 4.4.1 急救决策状态空间 //87
  - 4.4.2 决策空间的静态结构 //87
  - 4.4.3 状态空间的映射 //88
  - 4.4.4 数据子空间 //89
- 4.5 医疗决策推理的动态性能 //90
  - 4.5.1 状态空间的范数 //90
  - 4.5.2 急救决策特征空间的状态链 //91
  - 4.5.3 急救决策推理的脆弱性 //92
- 4.6 小结 //93
- 参考文献 //94

## 第5章 层次关联证据链推理的多属性群决策分类 //95

- 5.1 引言 //95
  - 5.1.1 群决策分类特点 //95
  - 5.1.2 群决策分类推理 //97
- 5.2 决策状态空间与证据链 //98
  - 5.2.1 命题空间与可信度性质 //98
  - 5.2.2 决策状态与证据链 //99
- 5.3 层次关联证据链推理模型 FUER //101
  - 5.3.1 层次关联 //101
  - 5.3.2 相似性度量 //102
  - 5.3.3 可信度集成 //103
- 5.4 类别误标下证据链的推理方法 //104
  - 5.4.1 证据链推理的混合整数优化模型 //104
  - 5.4.2 模型推理必要条件和敏感性分析 //105
  - 5.4.3 类别误标下模型推断 //107
  - 5.4.4 干扰下模型参数学习 //108
  - 5.4.5 相似度加权近邻算法 sf-NN //110
  - 5.4.6 鲁棒性分析 //111
- 5.5 小结 //112
- 参考文献 //112

## 第6章 基于鲁棒性阈值的 CBR/RBR 融合推理机制 //115

- 6.1 引言 //115
- 6.2 CBR/RBR 及其融合推理 //116
  - 6.2.1 CBR 推理 //116

- 6.2.2 RBR 推理 //120
- 6.2.3 多分类器集成的决策树优化方法 //121
- 6.2.4 CBR/RBR 融合推理 //122
- 6.3 融合酉空间及矩阵奇异值分解 //124
  - 6.3.1 融合酉空间 //124
  - 6.3.2 融合酉空间的奇异值分解 //125
- 6.4 鲁棒阈值方法 //131
  - 6.4.1 融合推理空间鲁棒性解集 //131
  - 6.4.2 知识关联性 //132
  - 6.4.3 相似度计算 //133
  - 6.4.4 知识粒度及推理信度计算 //133
  - 6.4.5 阈值的鲁棒性 //134
- 6.5 融合推理策略及步骤 //135
  - 6.5.1 融合推理策略与融合推理解 //135
  - 6.5.2 融合推理执行步骤 //137
- 6.6 小结 //138
- 参考文献 //139

## 第7章 基于贝叶斯网络的 CBR/RBR 融合推理机制与方法 //142

- 7.1 引言 //142
- 7.2 不确定信息条件下的推理机制及建模 //143
  - 7.2.1 稳健随机混合法 //143
  - 7.2.2 随机项建模 //145
- 7.3 推理模型的贝叶斯网络构建 //148
  - 7.3.1 贝叶斯网络 //148
  - 7.3.2 贝叶斯网络学习 //149
  - 7.3.3 贝叶斯网络构建 //153
- 7.4 BN-CBR/RBR 推理模型 //156
  - 7.4.1 相似度评价函数 //156
  - 7.4.2 鲁棒 BN-CBR/RBR 模型构建 //156
  - 7.4.3 改进的 K-D 树 (K-D Tree) 方法 //157
  - 7.4.4 代价敏感学习 //158
- 7.5 基于多属性决策的 BN-CBR/RBR 优化协同 //160
  - 7.5.1 多属性的人机融合决策模式 //160
  - 7.5.2 基于 Vague 集的优化模型 //163
  - 7.5.3 基于 Vague 集的嵌入式算法 //165
- 7.6 小结 //166

参考文献 //166

## 第8章 同态推理空间下的互信息属性特征建模 //168

- 8.1 引言 //168
- 8.2 空间的同态理论与信息场 //169
  - 8.2.1 状态空间同态 //170
  - 8.2.2 同态下推理空间的性质 //171
  - 8.2.3 推理状态空间的信息场 //172
  - 8.2.4 信息增益 //173
- 8.3 同态下的属性特征选择及互信息 //174
  - 8.3.1 属性特征选择 //174
  - 8.3.2 属性互信息 //175
- 8.4 同态推理状态空间中的互信息判据 //177
  - 8.4.1 互信息的归一化测度 //177
  - 8.4.2 互信息判据结构与性质 //179
- 8.5 基于互信息的属性特征选择模型 //180
  - 8.5.1 MIFS-U 属性特征选择模型 //181
  - 8.5.2 mRMR 属性特征选择模型 //183
- 8.6 同态下的鲁棒属性特征选择模型 //184
  - 8.6.1 鲁棒属性特征选择模型 ( $R^2$ CMIFS) //185
  - 8.6.2 同态下的鲁棒属性特征选择机制 //188
- 8.7 小结 //189
- 参考文献 //190

## 第9章 基于证据链推理和信息价值最大化决策 //192

- 9.1 引言 //192
  - 9.1.1 时态数据的多尺度决策问题分析 //192
  - 9.1.2 多尺度决策推理模型的相关研究 //193
- 9.2 时间窗与价值转移 //194
  - 9.2.1 数据驱动决策的时间窗 //194
  - 9.2.2 信息转移价值 //195
  - 9.2.3 管理熵 //196
- 9.3 单一尺度证据链与多尺度证据链 //197
  - 9.3.1 时态数据 //197
  - 9.3.2 时间尺度及多尺度证据链 //197
- 9.4 多尺度特征的证据链推理模型 (msFUER) 及决策框架 //199
  - 9.4.1 数据预处理与特征量提取 //200

- 9.4.2 多尺度特征量重构及互信息矩阵 //202
- 9.4.3 多尺度特征信息价值最大化的决策 //204
- 9.4.4 时态相似度的最近邻算法 ms-NN //206

9.5 小结 //209

参考文献 //210

## 第 10 章 实体异构性下多数据表证据链推理的机制 //212

10.1 引言 //212

10.1.1 数据异构性的决策方法 //212

10.1.2 多数据表融合的决策推理 //213

10.2 单数据表证据链关联与多数据表证据链关联 //215

10.2.1 多专家并行推理的知识表述 //215

10.2.2 局域数据融合推理方法 //216

10.2.3 基于数据分治方法的推理框架 //216

10.3 证据链并行推理模型 (mrFUER) //218

10.3.1 异构性实体相似关联 //218

10.3.2 证据链融合推理参数优化学习 //219

10.3.3 多数据集中证据链融合 //220

10.4 模型性能分析与求解步骤 //221

10.4.1 稳定性与鲁棒性分析 //221

10.4.2 多源证据链关联算法 xD-NN //223

10.4.3 决策启示 //224

10.5 小结 //226

参考文献 //226

## 第 11 章 过程感知数据下证据链推理的可信度更新模型 //228

11.1 引言 //228

11.1.1 过程感知的决策模糊性 //228

11.1.2 相关研究 //229

11.2 过程感知的证据链推理模型 (sdFUER) //230

11.2.1 部分信息下的融合推理模型 //230

11.2.2 部分证据融合及观测概率获取 //233

11.2.3 转移概率获取 //235

11.2.4 停止策略: 决策或继续感知特征数据 //237

11.2.5 基于狄利克雷函数的可信度更新算法 df-BU //238

11.3 模型分析及解的讨论 //239

11.3.1 推理深度及解空间性质 //239

- 11.3.2 不同先验概率  $p_0$  对推理的作用 //242
- 11.3.3 与相似频率直接更新可信度的比较 //243
- 11.4 小结 //245
- 参考文献 //245

## 下篇 智能医疗决策实践案例

### 第 12 章 智能病人机器人与数字化人体仿真决策机制 //248

- 12.1 背景 //248
- 12.2 智能病人机器人感知系统 //249
  - 12.2.1 智能病人机器人硬件及交互 //249
  - 12.2.2 智能病人机器人传感器网络 //250
  - 12.2.3 医师主控机 //251
- 12.3 智能病人机器人数字化仿真系统 //251
- 12.4 智能病人机器人通信系统 //253
- 12.5 智能病人机器人数据采集及分析系统 //254
  - 12.5.1 样本总体及统计分析 //256
  - 12.5.2 波形信号的粗粒化处理与实体特征提取 //256
  - 12.5.3 电子病程记录中提取的决策数据 //258
- 12.6 智能病人机器人决策支持系统 //259
  - 12.6.1 推理机的模型集 //259
  - 12.6.2 FUER-CDSS 系统框架 //260
  - 12.6.3 推理机 //261
  - 12.6.4 FUER 证据链训练模块 //261
  - 12.6.5 诊断查询的数值仿真 //263
- 12.7 数字化人体及智能病人机器人应用 //264
- 12.8 小结 //267
- 参考文献 //267

### 第 13 章 医疗诊断决策数据特征选择用例 //268

- 13.1 背景 //268
- 13.2 医疗决策过程中的诊断数据获取 //268
  - 13.2.1 诊断过程数据采集 //268
  - 13.2.2 数据集和数据结构 //273
- 13.3 数据空间特征选择用例 //273
  - 13.3.1 基于归一化二次 Renyi 互信息的特征选择 //273
  - 13.3.2 实验结果的鲁棒性分析 //274

13.4 小结 //277

参考文献 //277

## 第 14 章 基于证据链推理模型用例 //278

14.1 背景 //278

14.2 基于证据链的电子健康档案构建 //279

14.2.1 基于证据链的知识库 //279

14.2.2 知识库数据结构 //281

14.2.3 数据预处理 //283

14.2.4 证据链的属性信息积累 //284

14.3 基于证据链推理的决策可信度更新 //286

14.3.1 基于经验知识的 CHD 风险评估 //286

14.3.2 基于动态检查数据的可信度更新 //286

14.4 类别误标下基于证据链推理模型的诊断决策 //289

14.4.1 诊断实体相似度关联 //289

14.4.2 类别误标的推理结果分析 //290

14.5 小结 //292

参考文献 //292

## 第 15 章 CBR/RBR 融合推理用例 //293

15.1 背景 //293

15.2 CBR/RBR 融合实验 //294

15.2.1 心脏病病例数据选取 //294

15.2.2 心脏病病例特征选择 //295

15.2.3 心脏病病案特征权重计算 //296

15.2.4 基于 K-D 树的心脏病病案检索 //297

15.2.5 基于 Bagging-C4.5 决策树的诊断推理 //298

15.2.6 结果 //299

15.3 CBR/RBR 融合效率和准确性分析 //299

15.3.1 K-D 树检索效率分析 //299

15.3.2 CBR/RBR 融合模型推理性能分析 //301

15.3.3 与其他模型对比分析 //301

15.4 鲁棒阈值的 CBR/RBR 融合 //303

15.4.1 融合推理过程 //303

15.4.2 推理性能分析 //305

15.5 小结 //306

参考文献 //306

## 第 16 章 不确定性数据融合用例 //308

- 16.1 背景 //308
- 16.2 病历数据的关联处理 //309
- 16.3 BN-CBR 诊断案例 //311
  - 16.3.1 基于 BN 的案例推理 //311
  - 16.3.2 贝叶斯网络学习 //313
  - 16.3.3 CBR 检索 //314
  - 16.3.4 结果分析 //316
- 16.4 鲁棒 BN-CBR/RBR 模型实验 //317
  - 16.4.1 实验数据说明 //317
  - 16.4.2 实验步骤 //320
  - 16.4.3 仿真效果对比 //321
- 16.5 小结 //321
- 参考文献 //322

## 第 17 章 多机构数据融合用例 //323

- 17.1 背景 //323
- 17.2 三类临床决策诊断模式 //324
  - 17.2.1 模式 I：医生诊断决策的传统模式 //325
  - 17.2.2 模式 II：基于推理模型集的诊断决策系统 //326
  - 17.2.3 模式 III：辅助医疗决策支持系统融合决策 //326
  - 17.2.4 多模式诊断鲁棒性分析 //328
  - 17.2.5 证据链长度的结果比较分析 //332
- 17.3 分块数据融合的决策支持 //333
  - 17.3.1 基于 MapReduce 的数据处理 //333
  - 17.3.2 实体异构性信息的决策支持 //335
  - 17.3.3 考虑代价敏感性推理结果 //337
- 17.4 VBN-CBR/RBR //338
  - 17.4.1 基于 Vague 集的 BN-CBR/RBR 优化机制实验 //338
  - 17.4.2 仿真效果对比 //341
  - 17.4.3 结果分析 //341
- 17.5 小结 //343
- 参考文献 //343

## 第 18 章 心脏病急救流程优化用例 //345

- 18.1 背景 //345
- 18.2 心脏病急救流程 //346



- 18.2.1 心脏病急救特点 //346
- 18.2.2 心脏病急救模式 //346
- 18.2.3 心脏病急救全过程 //348
- 18.2.4 心脏病急救流程存在的问题 //351
- 18.3 心脏病急救流程优化原则 //354
  - 18.3.1 核心原则 //354
  - 18.3.2 操作性原则 //354
  - 18.3.3 基本方法 //355
- 18.4 基于 Petri 网的心脏病急救流程优化 //357
  - 18.4.1 Petri 网 //357
  - 18.4.2 模型构建 //359
  - 18.4.3 模型验证 //361
- 18.5 案例分析 //363
  - 18.5.1 流程优化实施方案 //363
  - 18.5.2 流程优化效果评价 //367
- 18.6 小结 //368
- 参考文献 //368
- 第 19 章 心脏病急救风险管理用例 //371**
  - 19.1 心脏病急救风险管理流程 //371
  - 19.2 心脏病急救风险的根源及特点 //372
  - 19.3 急救相关部门 //373
  - 19.4 心脏病急救中的人为失误 //375
    - 19.4.1 心脏病急救中的人为失误分类 //377
    - 19.4.2 心脏病急救中的人为失误原因层次分析 //380
  - 19.5 风险评价 //382
  - 19.6 应用案例 //383
    - 19.6.1 数据来源 //383
    - 19.6.2 研究方法 //383
    - 19.6.3 结果分析 //383
  - 19.7 小结 //385
  - 参考文献 //385
- 第 20 章 Web3.0 下的医疗与健康服务 //387**
  - 20.1 医疗社区网络 //388
    - 20.1.1 医疗与健康网络社区服务 //388
    - 20.1.2 云医疗健康信息平台 //389
  - 20.2 个性化医疗与健康服务 //391