

低成本健康集成技术

王磊 著



科学出版社

低成本健康集成技术

王 磊 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

基层医疗适宜技术和先进医疗设备是实现全民低成本健康的基础和保障。本书从我国基层医疗卫生的重大需求出发,分析低成本健康集成技术的重要性,详细介绍人体传感器网络、生物芯片、X射线影像诊断等与基层医疗密切相关的核心技术和创新设备;结合我国国情,对低成本健康海云工程进行论述。

本书可作为生物医学工程的技术参考书,适用于广大生物医学工程教学和科研人员,同时也可作为高等院校学生的学习参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

低成本健康集成技术/王磊著. —北京:科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-041783-1

I. ①低… II. ①王… III. ①医疗卫生服务—服务业—产业发展—研究—中国 IV. ①R199.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 203891 号

责任编辑:余 丁 邢宝钦/责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴/封面设计:蓝 正

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 9 月第一次印刷 印张:27 1/2 彩插:2

字数:522 000

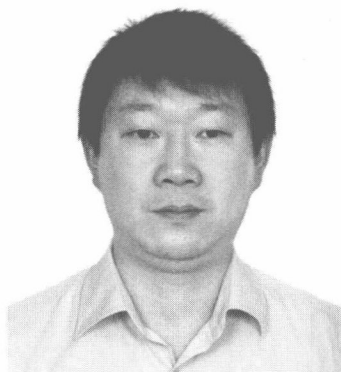
定价:135.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

谨以此书，献给为我国基层医疗事业默默奉献的
医护工作者和科技工作者！

大道之行，天下为公

作者简介



王磊，生物医学工程博士，博士生导师。2000～2008 年在英国格拉斯哥大学、系统级集成研究所和伦敦帝国理工大学从事科研和教学工作，2008 年加入中国科学院深圳先进技术研究院，现任生物医学与健康工程研究所副所长、医疗机器人与微创手术器械研究中心主任。

中国科学院百人计划研究员，深圳市政府特殊津贴专家；深圳市领军人才、杰青，深圳市“低成本健康重点实验室”、“基层医疗设备集成技术工程中心”和“生物医疗电子与健康信息公共技术服务

平台”主任；研究方向是低成本健康集成技术。承担国家科技重大专项、973、863、国家自然科学基金，中国科学院重点部署，广东省引进海外高层次人才创新团队，深圳市重大培育、技术开发、国际合作等多项重大科研项目，获资助科研经费 3000 多万元。累计发表科研论文 220 余篇，其中 SCI/EI/ISTP 三大国际检索工具索引 150 余篇；出版专著及专著章节七个；2009 年以来论文被引用 1200 余次；获两项国际专利、10 余项发明专利、七项实用新型专利授权，其中一项发明专利获得 2013 年度中国专利优秀奖，多项专利已转移到企业，40 余项发明专利正在受理中。作为技术持有人和首席科学家，先后孵化国内外高科技企业四个。获 2012 年深圳市产业发展与创新人才奖，2011 年中国科学院广州分院优秀共产党员，2010 年中国科学院广州教育基地优秀研究生指导教师，广东省医药科技二等奖和 IEEE EMBC、EPSRC 学术会议奖多项。是 IEEE 会刊等多个学术刊物审稿人和多个国际学术会议 TPC 成员，受邀国内外学术演讲 40 余次，主要学术兼职包括以下几个方面。

(1) 中国生物医学工程学会会员高级会员、代表委员会委员、健康工程分会委员、健康物联网标准体系工作组成员，中国社会福利协会养老服务信息化建设专家委员，中国医疗微系统产业技术创新联盟副理事长成员。

(2) 国家科技计划项目评审专家，国家外专局海外引智评审专家，广东省和深圳市科技计划评审专家。

(3) 中国科学院医疗健康“十二五”规划总体组组长，中国科学院先进医疗器械专项专家组成员，中国科学院 EDA 中心专家组成员。

(4) 东北大学兼职教授, 香港中文大学兼职教师。

(5) 广东省企业特派员。

(6) IEEE JBHI, TBCAS, TBME, TCAS; Sensors, Biomedical Engineering Online 等国际学术期刊审稿人。

(7) EMBC, World Congress, BSN, BHI, BioCAS, BHE, ICHI, HIS 等国际学术会议的 TPC, Program chairs, Theme chairs, Track chairs 及 Session chairs。

(8) EBs for Medical and Biological Engineering and Computing, IAC for UK-EPSRC SONOPILL。

序 言 一^①

低成本健康之路是一条具有中国特色的健康之路，希望通过自主知识产权的科技创新，进一步提高我国基础医疗的可及性和公平性，满足广大人民群众日益增长的基本医疗健康需求，提供切实可行的优选解决方案和技术产品支撑。为实现这个目标，需要将先进的临床医学、电子信息、先进制造和生物医学工程等领域的技术进展进行集成创新，即低成本健康集成技术，主要围绕医学集成电路设计、微纳传感器与微流控芯片设计、可穿戴和非接触式监测、健康数据融合和大数据分析、人体通信系统、人体传感器网络、智能医用内窥镜、低剂量型 X 光机、脑卒中智能诊断和脑肿瘤介入治疗等前沿科学问题与共性关键技术展开持续的探索和攻关。

低成本健康之路的第一阶段，即全民低成本健康海云工程，从村卫生室对低成本、高性能的全科医疗设备和健康信息系统的迫切需求出发，逐步发展到覆盖乡镇卫生院和社区卫生服务机构的门类齐全的基层医疗设备和全民健康服务的系统。截止到 2013 年年底，海云工程已经在我国广东、江苏、青海、上海等 10 多个省市的 3000 余个基层医疗卫生机构实现示范运营，直接受惠民众超过 1000 万人，深受广大基层全科医生和群众的信赖。模块化箱房医院成功用于 2013 年雅安地震现场救援并开展科技援非。中央多家媒体调研报道海云工程，联合卫生计生委员会，向国务院报文，开展国家层面示范。海云工程成为世界银行发布的包容性创新报告的重要内容并应邀做大会报告。同时，低成本健康之路也在积极向家庭和个人健康服务方面拓展，从而将全民医疗健康服务的重心进一步前移，降低医疗健康成本。在推行的举措方面，主要包括以下几点。

(1) 专利壁垒。针对基层医疗设备的前沿技术进行核心攻关，开发原型机，搭建低成本健康专利池，完善低成本健康领域的知识产权布局，申报并获得中国发明专利优秀奖。

(2) 学术引领。发表一批国际先进水平文章，参加国际重要学术会议并做大会报告，逐渐在健康信息学领域形成国际学术影响力。通过承担国家、省、地方和中国科学院等各类重大项目，增强国内学术影响力。

(3) 医工结合。按照需求分析、技术研发、临床实验和产业转化四个阶段部署工作，并与医院密切合作，促进临床转化。

① 序作者是中国科学院深圳先进技术研究院院长、深圳市人大常委会委员。

(4) 产研结合。通过育成高技术企业、与低成本健康产业园结对子、提供技术服务和横向合作等多种方式进行产业化,科研成果实现实质性销售,普惠于民。

(5) 广接地气。通过低成本健康海云工程,开拓普惠健康和先进医疗设备的推广示范,切实服务老百姓。

中国科学院深圳先进技术研究院的建立已经八年有余,一直以来,我们始终牢记使命,以国家富强、人民幸福为己任,与科学共进、与祖国同行。建院之初,就提出了“低成本健康医疗”的理念,旨在通过高新技术来降低医疗卫生的成本,从而减少老百姓看病费用。本书的作者王磊是我院“低成本健康医疗”的践行者之一,在科研工作中,他将集成技术以及相关思想结合到医疗设备的创制之中,创造性地攻克了许多技术难关。本书是作者六年多来科研工作的阶段性总结,并紧密结合实际,系统阐述集成技术在基层医疗设备中的运用,具有较高的学术价值和应用价值。读者不仅可以从中了解集成技术的内涵,也可以系统了解“低成本健康”的诸多应用案例,相信会对广大的健康信息科学、医疗设备技术及生物医学工程的工作者有所启迪。

樊建平

2014年7月5日

序 言 二^①

改革开放以来，我国的医疗事业取得长足的发展，在一定程度上满足了广大人民群众对医疗卫生事业的基本要求。然而随着生活水平的提高以及人口老龄化趋势的加深，民众对医疗卫生服务的需求越来越多。因此我国医疗器械市场得到了迅速发展，在国家政策的导向和国内医疗卫生机构装备的更新换代需求的大背景下，中国成为巨大的医疗器械消费市场。然而，我国医疗器械行业也存在数量多、规模小、行业集中度低、科研投入不足、创新能力弱的问题。众多的医疗器械企业产品集中在市场中低端，高端医疗器械研发能力尚需加强。

医疗行业快速发展的另一个事实是，在广大的基层医疗卫生机构中，医疗设备还停留在较初级的状态。医疗进程不断深化，我国在医疗方面的投入急剧增加，然而在基层医疗设备上的投入有限。基层迫切需求的是在有限投入下的智能化程度高、容错率高、易于操作而对应用环境要求较低的适宜产品。医疗器械行业涉及医药、机械、电子、塑料等多个行业，是一个多学科交叉、知识密集、资金密集的高技术产业。高端医学设备和基层医疗适宜设备的创新集成，需要广大生物医学工程工作者将各行业先进的技术吸收进来。

本书包含王磊博士及其团队在医疗设备上近几年的一些工作，将光电信息科学技术、移动通信技术和可穿戴计算机技术应用到医疗卫生领域，为我国的基层医疗设备发展和高端医学制造技术积累提供新的思路，具有重要的现实意义。

李石娟

2014年6月24日

^① 序作者是浙江大学医学院附属第一医院传染病诊治国家重点实验室主任、卫计委第一届人口健康信息化专家咨询委员会主任、中国卫生信息协会副会长、中国工程院院士。

序 言 三^①

随着人口老龄化的加剧以及威胁人类健康重大疾病的蔓延，社会对医疗健康服务的需求越来越大，然而医疗费用的飞涨使得人们越来越难承担相应的医疗支出。“看病难、看病贵、因病至贫”已成为压在中国人民头上新的三座大山之一。

国家在科技发展规划中明确提出通过科技创新，实现“定期体检、动态监测、辅助诊治、积极干预”，促进“全民低成本健康”工程。在“十二五”规划中也提出了要重点开发一批具有自主知识产权、高性能、高品质、低成本和主要依赖进口的基层医疗器械产品。在医学界、学术界和工业界，也提出并制定了一系列的应对策略和措施，其中包括：积极开展全民预防保健工作，研究前沿科学技术以降低医疗成本，开发新的精确诊断和治疗技术，利用健康信息技术提高医疗健康服务质量及效率，探讨从传统医疗模式向新型“8P 健康”范式的转化——即开展以人为本、以患者为中心（patient-centralized），人人参与（participatory）的预防性（preventive）、预测性（predictive）、个体性（personalized）、精确性（precise）、应急性（pre-imperative）和普适性（pervasive）的全民健康之变革。

光电信息科学技术、移动通信技术、可穿戴计算机技术和先进制药技术的迅猛发展为实现以健康信息化为基础的全民健康变革提供强大的助力。围绕提高人民健康水平的国家重大需求，面向国际健康科学技术的前沿领域，针对降低医疗成本的民生重大问题，为促进新型交叉学科的形成和带动新型健康产业的发展，2007 年中国科学院、深圳市政府和香港中文大学联合建立了中国科学院 SIAT 生物医学与健康工程研究所。按照建所重要宗旨，该研究所在建立初期以推动“8P 健康”范式之快速转化为目的，确定了低成本健康信息科学技术为具体主要研究方向，并在多年来做出许多卓有成效的工作。

本书的作者王磊是该研究所从海外引进的第一批学术核心骨干，以他为首的一批中青年精英，在繁忙的科研工作之余仍笔耕不辍，完成了这本《低成本健康集成技术》。该书着眼于医疗器械中集成技术的内涵，全面总结了所在团队近年来的相关工作，结合实际系统地阐述信息集成技术在设计医疗器械中的应

^① 序作者是香港中文大学电子工程系教授和生物医学工程联合研究中心主任、中国科学院健康信息学重点实验室主任、中国科学院 SIAT 生物医学与健康工程研究所创所所长。

用创新，并引入一些最新健康信息学研发成果，具有较高学术意义和实用价值。相信本书对广大志同道合的健康信息学、医疗技术及生物医学与健康工程工作者大有裨益。

张元亭

2014年4月24日

前 言

经过大家的共同努力,《低成本健康集成技术》一书终于出版了。在此,作者谨向为本书的出版提供帮助的同事和朋友表示感谢!

民众健康意识的提高是社会经济发展到一定阶段的必然结果。改革开放 30 多年来,我国经济建设取得巨大成就,但是在医疗卫生领域,慢性病、老年病的发病率日益增高,先进医疗器械被发达国家厂商垄断,城乡医疗水平差距过大导致医疗公平性无法保证,这些都严重制约着中华民族的伟大复兴。如何通过较低的投入,满足国人健康需求有着十分迫切的战略意义,其抓手之一就是突破一批面向基层医疗的关键适宜技术,研制一批低成本先进医疗器械系统,进而培育符合我国国情的健康服务产业。

近年来生物医学工程、信息科学与技术、微电子、微加工等科技领域取得了令人瞩目的进步,将相关的工程技术成果进行集成创新,应用于基层卫生机构的诊断治疗和面向基层的健康管理的条件已经成熟。低成本健康集成技术的出发点就是在确保诊断治疗精度和健康管理质量的前提下,提升早预测、早发现和早干预的综合能力,实现基层医疗的高性能和低成本。

《低成本健康集成技术》由绪论篇、技术篇和设备篇组成。绪论篇对国内外卫生发展现状、集成技术发展现状和低成本健康服务产业进行相关的论述和分析;技术篇介绍医学电子学、医学影像处理和医学信息分析等与低成本健康相关的集成技术;设备篇结合集成创新,介绍若干体现低成本高性能健康服务特色的医疗设备及其示范应用。

在绪论篇中,第 1 章低成本健康,分析我国目前在基层卫生医疗中所遇到的相关问题,介绍学术界与产业界的相关发展现状和解决策略,对了解低成本健康科技的发展具有重要意义。第 2 章集成技术的现状、挑战及展望,阐述集成技术的概念,列举集成技术在各个领域的应用,着重分析集成技术在医疗健康中的重要意义。第 3 章低成本健康集成技术体系,对相关集成技术和设备进行概述,同时介绍作者所在单位在低成本健康发展上的科研和产业化布局。

在技术篇中,第 4 章介绍 X 射线影像诊断技术,对图像重建技术以及伪影校正技术进行相关的介绍。第 5 章介绍生物芯片及其应用,从基因芯片、蛋白质芯片、细胞芯片和组织芯片、微流控芯片几个方面介绍生物芯片科技的概念和技术内涵。人体传感器网络的相关技术集中在第 6~9 章。第 6 章介绍医学集成电路设计,概述医疗微电子学的研究背景和发展现状,分析医学集成电路设计中的关键

问题,并介绍移动医疗系统芯片的发展。第7章声肌图与运动健康,介绍声肌图的关键技术与应用前景,总结1D声肌图和2D声肌图在运动健康和康复工程中的应用。第8章人体运动信息智能感知技术及应用,介绍基于惯性传感信息的人体运动感知技术和基于足底压力信息的人体运动感知技术,对易跌人群筛查和人体防跌技术的最新进展和发展前景进行阐述和分析。第9章无线体域网,介绍无线体域网通信技术以及IEEE 802.15.6标准,并对人体通信、无线体域网中的天线和无线体域网中的信道建模进行介绍。

在设备篇中,第10章介绍医学内窥镜,并结合临床介绍医学内窥镜在诊断和治疗中的应用。第11章影像引导介入治疗,介绍影像引导介入治疗的基本概念,并分析多模态影像引导经皮肾介入治疗、肝脏介入治疗的临床应用,对数字化手术室系统和多模态影像引导软件进行总结。第12章低成本血液净化技术及应用,介绍连续性血液净化治疗仪、智能型低成本血液透析机和全自动腹膜透析机。第13章医疗生命体征监护技术,介绍心排量监测、呼吸末二氧化碳监测、呼吸力学监测等新型监护模块及设备。第14章居家健康感知设备,分析健康感知的发展现状,介绍一些目前得到应用的居家健康感知设备。第15章低成本健康海云工程,从实践角度介绍医学信息学与大数据技术在面向基层的医疗信息化中的应用。

作者希望通过本书对低成本健康集成技术的概述和总结,能为从事相关科学研究、技术开发及产业化推广示范的工作人员和从事基层医疗护理的工作者提供参考。当然,由于作者学识水平有限,且低成本健康集成技术的不断向前发展以及诸多问题有待进一步探讨,书中难免出现疏漏,恳请同行与读者赐教、指正。

本书的创作得到众多同事的支持和参与,没有他们参与,本书的完稿与出版是难以实现的,在此一并表示感谢。他们分别是(按姓氏拼音排序):

樊建平 辜 嘉 黄邦宇 李志成 吕建成 马 忻 聂泽东
邵 伟 唐勋宏 谢耀钦 熊 璟 颜 延 叶继伦 游 璠
张金勇 张元亭 赵国如 郑海荣 周树民 周永进 朱青松

同时,感谢周小林、秦文建、王丽艳、李慧奇、张东文、刘秋华、闫涵、梅占勇、郭彦伟、张南南、李奇等同事和同学在本书的审校工程中付出的辛勤劳动!

八年来,作者所在单位一直致力于低成本健康集成技术的发展与推广,为建立标准化、低成本、区域共享的基层医疗体系提供技术支撑和示范平台,为推进基层医疗健康事业的发展而不懈努力。低成本健康的概念最早是由中国科学院深圳先进技术研究院院长樊建平研究员于2006年11月在“全民低成本医疗工程战略研讨会”上首次提出的,此后,樊建平研究员知行合一,带领包括作者在内的志同道合者践行践试,如今低成本健康理念已经是星火燎原,成为国内外业界的共识。在此特别感谢樊建平研究员对本书创作的指导与大力支持!

感谢作者家人的帮助及在本书的创作过程中给予的理解与配合,本书的出版

与你们的默默付出是分不开的。

本书的出版，得到了如下科研项目和创新载体的支持，在此表示感谢：

国家科技重大专项——面向数字医院的医疗物联网关键技术与设备开发及验证；

国家 863 计划——个人健康信息智能获取技术及系统开发；

国家 973 计划——心脑血管易损斑块高分辨成像识别与风险评估预警体系重大问题的基础研究；

中国科学院健康信息学重点实验室与中国科学院百人计划、重点部署项目；

广东省低成本健康技术创新团队与广东省影像引导治疗技术创新团队；

深圳市低成本健康重点实验室、深圳市基层医疗设备集成技术工程中心和深圳市生物医疗电子与健康信息公共技术服务平台。

最后再次感谢所有在本书的完成过程中作出贡献的成员和幕后奉献的各位朋友！

王 磊

2014 年 8 月 1 日

目 录

序言一

序言二

序言三

前言

第 1 章 低成本健康	1
1.1 国家重大战略需求	1
1.1.1 基层卫生现状与趋势	1
1.1.2 国家基层卫生政策发展现状	3
1.2 低成本健康的重要性与必要性	6
1.2.1 发展基层低成本健康卫生事业的重要性	6
1.2.2 发展基层低成本健康卫生事业的必要性	8
1.3 低成本健康集成技术发展趋势及产业现状	9
1.3.1 技术发展趋势	9
1.3.2 国内外研发现状	11
1.3.3 低成本健康集成技术国内外产业应用现状	13
1.4 本章小结	15
参考文献	15
第 2 章 集成技术的现状、挑战及展望	19
2.1 集成技术的定义及其内涵	19
2.2 集成技术的研究现状及其实际应用	21
2.2.1 集成技术在国防等工业的应用	21
2.2.2 集成技术在机器人等工业的应用	23
2.2.3 集成技术在电动汽车等工业的应用	25
2.2.4 集成技术在智能建筑等工业的应用	26
2.2.5 集成技术在低成本健康等工业的应用	28
2.2.6 集成技术在微电子等工业的应用	29
2.2.7 集成技术在云计算等工业的应用	30
2.3 集成技术面临的挑战与对策	31
2.4 集成技术的未来及其展望	33

2.5 本章小结	36
参考文献	36
第3章 低成本健康集成技术体系	38
3.1 低成本健康集成技术	38
3.1.1 医用 X 射线成像技术	38
3.1.2 生物芯片与微流控技术	39
3.1.3 医学集成电路设计	42
3.1.4 声肌图与运动健康	44
3.1.5 人体运动信息	44
3.1.6 无线体域网	46
3.2 集成技术创新应用	47
3.2.1 医用内窥镜系统	47
3.2.2 影像引导介入治疗系统	48
3.2.3 低成本血液透析设备	50
3.2.4 生命体征监护设备	51
3.2.5 居家健康感知设备	53
3.2.6 低成本健康海云示范工程	54
3.3 本章小结	56
参考文献	56
第4章 X 射线影像诊断技术	58
4.1 X 射线影像设备发展简史	58
4.2 新型 CT 设备	61
4.2.1 新型锥束 CT	61
4.2.2 C 型臂 X 光机	62
4.3 图像重建算法	63
4.3.1 迭代重建法	64
4.3.2 解析重建法	66
4.3.3 感兴趣区域局部图像重建	70
4.4 伪影校正	71
4.4.1 环状伪影的校正	71
4.4.2 金属伪影的校正	73
4.4.3 运动伪影校正	74
4.5 本章小结	76
参考文献	76

第 5 章 生物芯片及其应用	79
5.1 基因芯片	80
5.1.1 基因芯片概述	80
5.1.2 基因芯片的应用	82
5.2 蛋白质芯片	97
5.2.1 蛋白质芯片概述	97
5.2.2 蛋白质芯片的应用	98
5.3 细胞芯片和组织芯片	103
5.3.1 细胞芯片和组织芯片概述	103
5.3.2 细胞芯片和组织芯片的应用	105
5.4 微流控芯片	107
5.4.1 微流控芯片概述	107
5.4.2 微流控芯片的应用研究	108
5.4.3 微流控芯片检测技术的应用现状	117
5.5 本章小结	117
参考文献	118
第 6 章 医学集成电路设计	131
6.1 医疗电子的研究背景与研究现状	131
6.2 我国医疗电子产业面临的机遇	133
6.3 医学集成电路技术应用概要	134
6.4 医学集成电路的设计考虑	136
6.4.1 微弱的信号	136
6.4.2 采集环境的噪声干扰	136
6.4.3 非理想的采集接口	137
6.4.4 低功耗应用要求	137
6.5 移动医疗芯片的设计	138
6.5.1 移动医疗芯片的系统架构	138
6.5.2 多通道模拟前端集成电路设计	141
6.5.3 电源管理芯片	143
6.5.4 人体通信收发芯片	144
6.5.5 数字信号协处理器	148
6.5.6 移动医疗所面临的挑战	151
6.6 本章小结	152
参考文献	152