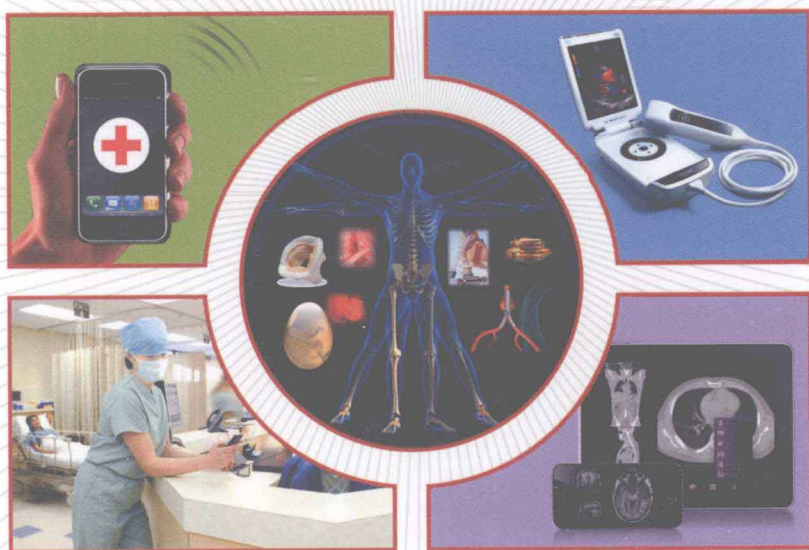


Biomedical Engineering on a Mobile Phone:
Principle and Application

手机平台上的生物医学工程学 ——原理及应用

刘静 于洋 刘琳 著



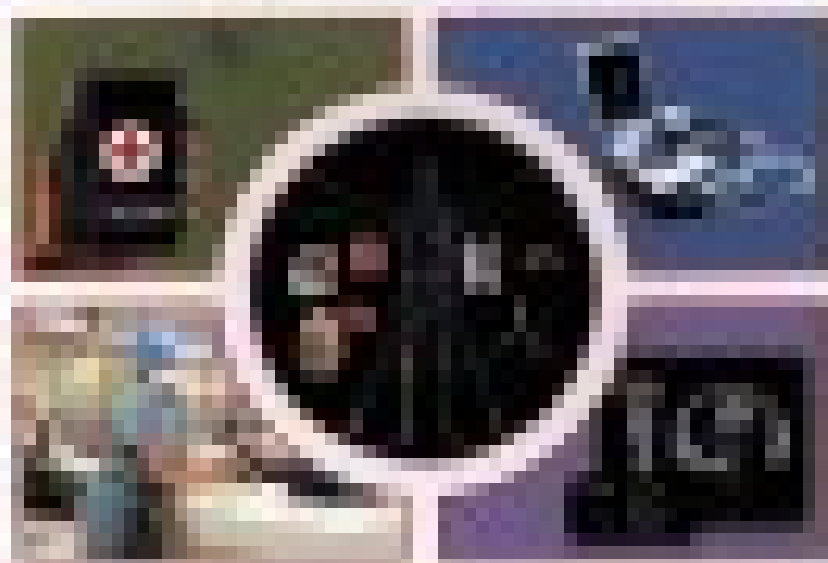
科学出版社

Electrical Engineering on a Mobile Platform
Principles and Applications

手机平台上的生物医学工程学

——原理及应用

王 强 王 强 王 强 王 强 王 强



清华大学出版社

手机平台上的生物医学工程学

——原理及应用

**Biomedical Engineering on a Mobile Phone:
Principle and Application**

刘 静 于 洋 刘 琳 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

手机作为当代受众最广的电子媒介,其应用范畴正在向着前所未有的层面推进,必将成为推动全球新一轮健康技术变革的核心引擎。本书系全球首部系统论述手机医疗的学术著作,力求勾画正在逐步成形中的“手机平台上的生物医学工程学”这一全新领域的概貌,系统提炼了手机医学的基本特征,阐述了以手机为载体发展健康管理及诊疗技术的基本途径和实现策略,并建立起若干通向手机诊疗技术的富有启发性的方法,构建出相对完整的手机生物医学工程学体系,在此基础上探讨了新的健康管理及医疗卫生服务模式,对由手机医疗引申出的未来发展方向进行了论述,提出了有待解决的一系列关键科学与技术问题。

本书可供生物医学工程学、临床医学、通信电子、信息技术、微系统、物理等领域的研究人员、工程师以及大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

手机平台上的生物医学工程学:原理及应用=Biomedical Engineering on a Mobile Phone:Principle and Application/刘静,于洋,刘琳著. —北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-032651-5

I. 手… II. ①刘…②于…③刘… III. 移动电话机-应用-生物工程:医学工程-研究 IV. R318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 222068 号

责任编辑:汤 枫 / 责任校对:包志虹
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者工作设计室

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>

北京佳信信达艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 11 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 11 月第一次印刷 印张:22 1/4

字数:423 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

疾病的发生发展往往是一个悄无声息、逐渐演变的过程。时至今日，人类所建立的各种现代最为先进的生物医学技术仍然远远不敷使用，与社会的真实需求存在较大脱节。临床上，由于缺乏对潜在病患的早期预警，使得不少重大疾病在发现时已接近晚期，从而丧失治愈的机会；即使一些非致命性疾病，也往往会因诊断不及时而加大了治疗的难度和成本。这些长久以来不断见诸报道的问题，始终由于技术的制约而停步不前。显然，要彻底改观这些人类社会延续数千年的医疗模式的不足，必须着力发展不受空间、时间乃至成本限制，可随时随地实施疾病诊疗而又可供人人享有的普惠型健康技术。

手机时代的到来，为实现无障碍的疾病监测并予以及时施治提供了诸多可能。由于这些因素，一个崭新的生物医学工程学前沿领域正在逐步成形中，我们可以不失一般性地将其归结为“手机平台上的生物医学工程学”，其对应的英文可表述为“Biomedical Engineering on a Mobile Phone”。这种定义的内涵和外延实际上是相当丰富的。事实上，许许多多的移动电子、网络/通信技术乃至云计算终端都在向这个称做“Mobile Phone”的便携式设备汇集，手机在某种意义上只是其中较为具体的代表之一，因此，凡是借助于移动电子设备及其网络平台实现的任何具有泛在应用价值的健康管理、疾病诊断乃至治疗的生物医学工程技术，均可包含于这一范畴，其至高目标始终在于追求人类健康技术的最大便捷化。种种态势表明，手机生物医学工程学的研究和应用已初露曙光。

3G 以及更高端移动通信时代的来临，正催生出一系列独具特色的手机生物医疗市场。虽然当前可用的手机生物医学工程技术仍然屈指可数，但全球在这一领域的相关研发活动特别是在近两年来风起云涌。对普适健康技术日益增长的需求，正在催生大量极具前瞻性的基础和应用研究。长期以来，由于历史的原因，我国的医疗仪器工业十分薄弱，研究和产出远远不能满足国民的需求，亟待迎头赶上。值得庆幸的是，国内外在手机健康技术领域的起步几乎同时，而我国在生产制造、医疗临床特别是拥有庞大受众和市场方面，具有无可比拟的优势，科研投入也与日俱增，相信假以时日，完全可以在这一新兴战略领域有大的作为。

与各种传统医疗技术相比，集便携、无线通信、网络连接、多媒体、信息存储、数据处理和计算、传感与互动乃至高品质体验等诸多综合优势于一体的手机

系统,为新一代健康技术体系的构建创造了前所未有的重大机遇。从诊断学角度而言,手机平台几乎可与所有无线或有线方式的传感器、执行器相结合,从而发展出一系列原理独特的电、磁、声、光、热、化学、机械乃至图像等诊断技术,由此研制开发出可部分甚至全部取代当前医疗体系中诸多耳熟能详的设施,事实上,相应器械的功能也许更为强大且全面,这是由手机应用无边界的特点所决定的。在治疗方面,手机可望替代传统计算机和网络,成为各类先进医疗器械的控制中心,从而承担起即时医治包括实施远程治疗的任务。甚至,无所不在的手机及其网络、通信支撑平台将能充当起每一个体的健康守护者。可以说,由手机引发的健康技术发展空间巨大,着实是一个会带给人们许多美好遐想同时又颇为实用的前沿领域。对手机生物医学工程学予以全面推进,必可促成诸多全新技术的诞生。

当前,在手机医疗技术的相关理论与应用技术研究方面,国内外均极为缺乏相应的系统性论述著作。为推动这一新兴领域的快速发展,作者不揣冒昧,试图为读者提供一本及时而富有启发性的书籍,以满足学术界和工业界对此的紧迫需求,尤其希望能为促进我国先进医疗工业领域的人才队伍培养和可持续发展贡献一份力量。本书将在深入剖析手机医疗技术当前及未来发展态势的基础上,深入阐述若干典型技术的基本特征、原理及应用问题,并具体讲解一些有代表性的硬件和软件的实现策略,提出和构建了系列通向先进健康技术与医疗仪器的基本路线,其中也有部分内容是基于对潜在技术发展脉络的判断,给出的探讨性论述。当然,对于手机生物医学工程学这样一个正在快速拓展的前沿领域,本书不可能触及所有层面,仅以作者目前所关注的主题为突破口加以阐述。由于这一领域的崭新性,已发表的学术文献和资料极为有限,成熟方法和理论尚不多,因此,本书并不仅限于讨论既定的模式和技术,也试图从方法学的角度,通过剖析手机与现代医疗卫生需求之间的关联性,阐述相当一部分在今后可能会逐步变成现实的重要技术的发展方向和推进路线。对此,读者可以见仁见智。在手机医疗广阔的发展空间中,相信会有许许多多值得期待的成果不断涌现。

本书形成过程中,第一作者数年来于清华大学及中国科学院理化技术研究所指导的多名学生为此作出了重要贡献,他们先后承担了一些内容的研究和撰写工作,这些同志分别是:王昊、韩萌、张晓丁、黄硕、王硕、李晶晶、袁宇辰、谢巧闽、张舟、王倩、金海岚、金超、于洋、刘琳等,特别是于洋和刘琳两位同志还参与了本书多个章节的整理和撰写工作。此外,书中部分内容和素材,在第一作者于清华大学医学院生物医学工程系开设的“微/纳米生物医学技术与仪器”课程中曾多次讲解,经数届同学的积极参与不断得到丰富和完善;同时,本书介

绍的一些学术理念特别形成于第一作者多年来在中国科学院理化技术研究所低温生物学实验室组织的多次研讨中，得到全体研究生和同事的积极参与和大力支持；本书终稿还承杨阳博士、邓中山博士审阅并提出不少宝贵意见，他们也参与了书中部分研究工作。其间，本书所涉及的部分研究工作，还得到了清华-裕元医学科学研究基金、中国科学院医疗仪器项目及国家 863 计划项目等的资助。作者在此谨一并致谢。

限于作者水平，书中内容可能会存在疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

作 者

2011 年 9 月于北京

缩略语及中英对照速查表

ABB: 模拟基带

ADPCM, adaptive differential pulse code modulation: 自适应差分脉冲编码调制

AHI, apnoea/hypopnea index: AHI 指数

ambient intelligence: 环绕智能

annual physical examination: 年度体格检查

ANP, atrial natriuretic peptide: 心房钠尿肽

AOSD: 成人斯蒂尔病

ASIC: 专用应用集成电路

ASR: 自动语音识别

back-end servers: 后台服务器

baseband: 基带

basic medicine: 基础医学

biomedical engineering on mobile phone: 手机上的生物医学工程学

bluetooth: 蓝牙

body area network: 躯域网

browser cache: 浏览器缓存

CCSA: 中国通信标准化协会

CCU, coronary care unit: 冠心病监护病房

client pull: 客户端拉拽

clinical medicine: 临床医学

cloud computing: 云计算

CNC: 数控加工

CNNIC: 中国互联网络信息中心

color-display interval: 颜色区间

CSA, central sleep apnea: 中枢型睡眠暂停综合征

CT: 计算机断层扫描

CVD: 心血管疾病

DBB: 数字基带

DICOM, digital imaging and communications in medicine: 医疗数字影像传输协定

- DSP: 数字信号处理器
- ECG, electrocardiogram: 心电图
- EEG: 脑电图
- EIT, electric impedance tomography: 电阻抗断层成像
- FDA: 美国食品及药品监督管理局
- feature phone: 功能手机
- GIS: 地理信息系统
- GMM: 高斯混合模型
- GPRS: 通用分组无线业务
- GPS: 全球定位系统
- GSM: 全球移动通信系统
- HCI, host controller interface: 主机控制器接口
- HDL, high density lipoprotein: 高密度脂蛋白
- HDMI, high definition multimedia interface: 高清晰度多媒体接口
- HRV, heart rate variability: 心率变异性
- HSI, hue-saturation-intensity: 饱和色调强度
- HSS, health snapshot: 健康快照
- IDE, integrated development environment: 集成开发环境
- IDF, International Diabetes Federation: 国际糖尿病联盟
- IrDA, Infrared Data Association: 红外数据协会
- L2CAP, logical link control and adaptation protocol: 逻辑链路控制与适配协议
- LCD: 液晶显示器
- LDL, low density lipoprotein: 低密度脂蛋白
- M-health: 移动医疗
- MAC: 媒体访问控制
- MCU: 微控制器单元
- MEG: 脑磁图
- MEMS: 微机电系统
- MFC, microsoft foundation classes: 微软基础类库
- MIMOSA, microsystems platform for mobile services and applications: 面向移动服务及应用的微系统平台
- MMS, multimedia message service: 多媒体消息服务
- MRI: 核磁共振成像
- MS: 多发性硬化症
- MSA, mixed sleep apnea: 混合型睡眠暂停综合征

OS, operation system: 操作系统
OSA, obstructive sleep apnea: 阻塞型睡眠暂停综合征
PACS, picture archiving and communication system: 医学图像存储与通信系统
PAN, personal area network: 个人局域网
PCO₂: 二氧化碳分压
PCM, pulse code modulation: 脉冲编码调制
PDA: 个人数字助理
PET: 正电子放射断层扫描
PIN: 个人识别码
preventive medicine: 预防医学
primary prevention: 一级预防
PSG, polysomnography: 多导睡眠图
PUC, personal universal controller: 个人通用控制器
PVC: 室性早搏
RAM: 随机存储器
RF: 射频
RFCOMM: 串口仿真协议
RFID sensor tags: 射频识别传感器标签
RIFF, resources interchange file format: 资源互换文件格式
ROM: 只读存储器
SD: 频谱维度
SDK: 软件开发工具包
SDP, service disco: 服务发现协议
secondary prevention: 二级预防
sensor radio node: 无线传感器节点
server push: 服务器推送
SIM/UID, subscriber/user identity module: 客户识别模块/用户身份识别卡
SLA: 立体光刻
SLE: 系统性红斑狼疮
SLS: 选择性激光烧结
smart phone: 智能手机
SMI, silent myocardial ischemia: 无症状心肌缺血
SMS, short message service: 短消息服务
SNS, social network service: 社会网络服务
SPI, serial peripheral interface: 串行外围设备接口

SPR: 表面等离子共振

SVM: 支持向量机

TCM, traditional Chinese medicine: 传统中医

TCS-BIN, telephony control protocol-binary: 二进制电话控制协议

terminal devices: 终端设备

tertiary prevention: 三级预防

waveform audio: 波形文件格式

WBSN: 无线生物医学感测网路

WHO, World Health Organization: 世界卫生组织

Wi-Fi, wireless fidelity: 无线宽带

WPAN, wireless personal area network: 无线个域网

WSN, wireless sensor network: 无线传感器网络

ultrasound imaging: 超声成像

UWB: 超宽带

VQ: 矢量量化

目 录

前言

缩略语及中英对照速查表

第 1 章 绪论	1
1.1 传统医疗卫生体系的优势和不足	1
1.2 手机社会的到来	2
1.3 手机生物医学工程学的兴起	5
1.4 手机生物医学工程技术的基本特征及其泛在医学价值	6
1.5 手机生物医学工程学国内外发展概况	8
1.6 手机医疗发展中所面临的理论与技术挑战	10
1.7 本书内容和框架	11
参考文献	12
第 2 章 疾病发生特点及其对泛在型诊疗技术的需求	14
2.1 人体生理系统与疾病	14
2.1.1 人体生理系统	14
2.1.2 人体健康与疾病	15
2.2 人体疾病发生的时间和空间问题	17
2.3 肿瘤类重大疾病的发生发展特征及手机诊疗策略	18
2.3.1 肿瘤类疾病的发生发展特征	18
2.3.2 肿瘤类疾病的手机诊疗策略	19
2.4 心脑血管类疾病的发生发展特征及手机诊疗策略	19
2.4.1 心脑血管类疾病的发生发展特征	19
2.4.2 心脑血管类疾病的手机诊疗策略	20
2.5 其他常见慢性疾病的发生发展特征及手机诊疗策略	20
2.5.1 常见慢性疾病的发生发展特征	20
2.5.2 常见慢性疾病的手机诊疗策略	21
2.6 典型传染性疾病的发病发展特征及手机诊疗策略	22
2.6.1 典型传染性疾病的发病发展特征	22
2.6.2 典型传染性疾病的手机诊疗策略	23
2.7 精神性心身疾病的发生发展特征及手机诊疗策略	23
2.7.1 精神性心身疾病的发生发展特征	23

2.7.2 精神性心身疾病的手机诊疗策略	23
2.8 急救医学中的手机监护策略	23
2.9 本章小结	24
参考文献	24
第3章 手机医疗的软硬件技术基础	25
3.1 概述	25
3.1.1 手机演进与发展	25
3.1.2 手机的分类	26
3.1.3 手机与移动通信网络	26
3.2 手机典型功能模块	27
3.2.1 输入输出设备	27
3.2.2 附属设备	28
3.2.3 数据传输与接口	29
3.3 手机芯片技术	31
3.3.1 数字基带处理器	31
3.3.2 模拟基带处理器	32
3.3.3 存储器	32
3.3.4 射频信号处理器	32
3.3.5 功率放大器	32
3.3.6 电源管理器	32
3.4 手机加工及组装技术	33
3.4.1 手机设计环节	33
3.4.2 手机基本结构	33
3.4.3 手机结构件制造技术	34
3.4.4 手机出厂测试	34
3.5 手机软件操作系统及选用	34
3.5.1 Palm/Web OS	36
3.5.2 Symbian OS	36
3.5.3 Blackberry OS	36
3.5.4 Windows Mobile/Windows Phone 7	36
3.5.5 iOS	37
3.5.6 Android OS	37
3.6 典型手机编程语言	37
3.6.1 MFC	38
3.6.2 C#	38

3.6.3 Objective-C	38
3.6.4 Java	38
3.7 软件兼容性.....	38
3.8 本章小结.....	39
参考文献	39
第4章 基于手机平台的生物医学传感技术	41
4.1 手机与生物医学传感器的融合.....	41
4.2 生物医学传感器的基本概念.....	42
4.3 生物医学传感器的发展趋势.....	43
4.3.1 智能化与微型化	43
4.3.2 原理革新化	45
4.3.3 无线化与网络化	46
4.3.4 便携化与可穿戴化	47
4.4 基于手机的生物医学传感技术.....	48
4.4.1 手机检测.....	48
4.4.2 手机成像.....	50
4.4.3 多功能手机传感器	52
4.4.4 以手机为中心的传感器网络	53
4.5 发展手机式传感系统所面临的问题与挑战.....	54
4.6 本章小结.....	57
参考文献	57
第5章 基于手机平台的生物医学执行与控制技术	66
5.1 手机执行与控制技术.....	66
5.2 手机在日常生活中的控制应用途径.....	67
5.2.1 手机控制家庭或办公室电器	67
5.2.2 手机远距离控制下的环境监测	68
5.2.3 手机控制的其他几个方面	69
5.3 手机执行与控制在医疗中的应用策略.....	69
5.3.1 基于手机控制的远程医疗概念	69
5.3.2 手机的交互式远程医疗服务	71
5.4 基于手机执行的远程医疗模式.....	71
5.4.1 基于手机的心电远程监测.....	72
5.4.2 基于手机的糖尿病远程监测	73
5.4.3 基于手机的远程皮肤病监测	74
5.4.4 用于远程监测重要参数的生物医学服装	75

5.4.5 手机控制的无线医疗设备·····	75
5.5 发展手机执行器技术所面临的问题与挑战·····	77
5.6 手机控制技术前景展望·····	78
5.7 本章小结·····	79
参考文献·····	80
第6章 人体动态体温及分布图谱的手机测量技术 ·····	87
6.1 人体温度与疾病和健康的关系·····	87
6.2 电子测温技术研究现状及最新进展·····	89
6.2.1 有线体温监护研究·····	89
6.2.2 无线体温监护研究·····	89
6.2.3 特定功能体温测量技术·····	90
6.2.4 手机体温测量技术及其普适意义·····	91
6.3 手机无线测温与报警技术的实现·····	91
6.3.1 手机测温模块的实现·····	91
6.3.2 手机测温软件的实现·····	93
6.3.3 典型体温测试及报警系统硬件·····	98
6.4 手机测温及报警功能实验评估·····	99
6.5 人体睡眠或呼吸障碍的温度监测方法·····	101
6.6 人体温度图谱的手机获取技术·····	103
6.6.1 热色液晶成像技术·····	104
6.6.2 基于手机的热色液晶成像新模式·····	105
6.6.3 热色液晶的色调-温度标定曲线·····	106
6.6.4 基于手机的液晶成像方式初步应用·····	108
6.6.5 手机型热色液晶成像在人体体表热流量分析中的应用·····	110
6.6.6 手机热色液晶成像的应用前景·····	111
6.7 本章小结·····	111
参考文献·····	111
第7章 手机动态心电测量技术 ·····	115
7.1 手机心电实时监测的需求现状·····	115
7.2 经典的心电获取技术·····	116
7.2.1 传统心电图技术·····	116
7.2.2 动态心电图技术·····	118
7.3 基于手机的心电检测技术的兴起·····	119
7.4 手机心电检测的技术基本组成·····	121
7.5 典型手机无线心电实时监护系统的总体结构·····	122

7.5.1 主要元器件	123
7.5.2 软件平台及开发环境	123
7.5.3 评估方法和预期应用范围	124
7.6 心电采集端的具体结构及实现	124
7.6.1 心电采集端整体结构	124
7.6.2 心电放大模块	125
7.6.3 单片机控制模块	125
7.6.4 蓝牙通信模块	126
7.6.5 电源模块与功耗	126
7.7 手机接收端软件的实现	126
7.7.1 手机软件功能	126
7.7.2 软件界面	127
7.7.3 数据与图像的保存	128
7.7.4 R波检测与心率计算	129
7.7.5 软件系统资源开销	131
7.8 手机心电测试系统可靠性及影响因素的评估	131
7.8.1 与常规心电图比较	131
7.8.2 手机通信的影响	132
7.8.3 运动干扰与伪迹	134
7.9 手机无线心电获取技术的探究性应用	136
7.9.1 人群应用测试	137
7.9.2 动态心电监测实验	138
7.10 人体患病情况或异常心电信号的检测	142
7.10.1 实验设计	143
7.10.2 典型测试结果与波形	143
7.10.3 机理分析	146
7.11 本章小结	147
参考文献	148
第8章 人体步态的手机测量与分析技术	151
8.1 人体步态分析的医学价值	151
8.2 人体步态分析技术研究概况	152
8.3 移动式人体步态分析技术的提出	154
8.4 手机足底动态压力测量系统的硬件组成及实现	156
8.5 手机足底动态压力测量系统的应用研究	157
8.6 人体步态的手机图像捕捉与分析技术	158

8.6.1 研究概况	158
8.6.2 基于手机上低像素摄像头的步态识别	159
8.7 手机步态图像分析技术的应用案例	161
8.8 手机步态分析技术展望	163
8.9 本章小结	165
参考文献	165
第9章 人体声学信号的手机测量技术	168
9.1 睡眠障碍的传统监测方法	168
9.2 睡眠障碍的声学特征及手机监测方法	170
9.3 记录鼾声的手机软件方案	171
9.3.1 软件开发环境筛选	171
9.3.2 软件接口	171
9.4 鼾声信号手机检测系统的实现	175
9.4.1 获取实例	176
9.4.2 获取存储路径及文件名	176
9.4.3 开始采集	177
9.5 计算机数据分析处理	180
9.6 本章小结	182
参考文献	182
第10章 更多典型生理参数的手机测量技术	184
10.1 人体血压的手机无线监测技术	184
10.1.1 血压测量意义及技术发展概况	184
10.1.2 手机无线血压检测系统总体结构	185
10.1.3 血压波形采集端的实现	186
10.1.4 手机接收端软件实现	191
10.1.5 系统性能测评及探究性试验	194
10.1.6 血压无线检测技术展望	198
10.2 糖尿病手机监测技术	199
10.2.1 关于糖尿病及其监测技术概况	199
10.2.2 唾液葡萄糖检测原理和方法	201
10.2.3 唾液葡萄糖检测系统的硬件设计	203
10.2.4 唾液葡萄糖检测系统的软件开发	205
10.2.5 唾液葡萄糖无线检测系统的原理性实验	208
10.2.6 技术展望	209
10.3 手机上的生物样品阻抗谱测试技术	209