



国际信息工程先进技术译丛

WILEY

人体区域通信——信道建模，通信系统及EMC

Body Area Communications: Channel Modeling, Communication Systems, and EMC

Jianqing Wang 著
Qiong Wang

刘凯明 余春东 译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

人体区域通信—— 信道建模， 通信系统及 EMC

Jianqing Wang 著

Qiong Wang

刘凯明 余春东 译



机械工业出版社

Body Area Communications; Channel Modeling, Communication Systems,
and EMC/By Jianqing Wang, Qiong Wang

ISBN: 978 - 1 - 118 - 18848 - 4

Copyright © 2013 John Wiley & Sons Singapore Pre. Ltd.

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Singapore Pre. Ltd. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with China Machine Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Singapore Pre. Ltd.

本书原版由 Wiley 公司出版, 并经授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

本书中文简体翻译出版授权机械工业出版社独家出版, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Wiley 公司的防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01 - 2013 - 5124 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

人体区域通信: 信道建模, 通信系统及 EMC/王建青等著; 刘凯明, 余春东译. —北京: 机械工业出版社, 2015. 2

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文: Body area communications; channel modeling, communication systems, and EMC

ISBN 978 - 7 - 111 - 48836 - 1

I. ①人… II. ①王… ②刘… ③余… III. ①人体 - 通信信道 - 研究
IV. ①TP84

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 290281 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 徐明煜 责任编辑: 徐明煜 朱林

版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 马精明 责任印制: 乔宇

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.75 印张 · 289 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48836-1

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

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010)88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010)68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

(010)88379203

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

本书首先介绍了在人体区域通信的各个可用频段上，人体的基本电磁特性以及对这些特性建模的方法，接下来介绍了用于人体信道建模的典型分析方法。基于这些基础知识，本书重点对3个主要领域的内容进行了介绍：人体信道建模、调制/解调性能分析和电磁兼容问题。全书沿着从理论到实践的脉络，从最基本的物理规律介绍开始，再到对有用的数学模型的介绍，最后是对实际应用问题的考虑和分析。

译者序

随着无线通信技术的发展以及人们生活需求的不断提高，无线通信所关注的焦点也逐渐从传递信息扩展到人类自身。继广域网、城域网、局域网、个域网之后，无线通信技术终于进入这个与人类个体联系最紧密的区域——体域网（Body Area Network, BAN）。

体域网近年来已经成为无线通信领域新的关注热点。一方面由于全球人口老龄化趋势不断加剧，使得人们对新的医疗、保健手段的需求日趋迫切，其中涉及病理诊断、生理监测、慢性病治疗、疾病预防、残障辅助等诸多方面；另一方面，人们希望自身感知世界的末梢不断扩展和延伸、获取信息的能力不断增强，由此诞生出许多围绕人体自身的诸如娱乐、商务、安全、辅助增强等应用需求。此外，体域网在军事领域也极具应用前景。

体域网的发展与应用仍然面临着诸多挑战。首先，体域网实际上是涉及电磁理论、通信理论、生物医学理论的交叉学科，其中很多问题都需要建立新的模型、发展新的方法来研究解决；其次，电磁信号与人体之间相互作用与影响的规律还存在许多未知问题，这关系到人体的安全与器件稳定性，这方面的认知还有待进一步深入；最后，在数据的可靠传输、器件的小型化与低功耗设计等方面，将面临新的、更高的要求，实现难度巨大。

本书的一大特色在于，不仅涵盖了物理电磁学理论以及通信理论，还涉及了生物学理论。全书沿着从理论到实践的脉络，从最基本的物理规律介绍开始，再到对有用的数学模型的介绍，最后是对实际应用问题的考虑和分析。书中的内容来源于作者对自己及其他学者研究成果的总结，同时这些内容已经在作者的教学工作中使用过并经过了不断完善。

全书共分为8章，第1章对人体区域通信的概念、应用领域、工作频段以及国际标准等内容进行了介绍。第2~3章分别介绍了人体的电磁特性和电磁学领域常用的几种数值分析方法，这些内容为人体区域通信信道建模、人体安全性评估等工作提供了重要的基础理论和方法。第4~6章分别介绍了人体区域通信中的信道模型、调制/解调技术以及系统性能分析方法，这些内容能够为系统设计开发、关键技术研究等工作起到很好的指导与帮助作用。第7章介绍了电磁兼容性问题，包括两方面内容——评估人体区域通信系统对人体安全性影响的SAR分析方法、心脏起搏器电路中的电磁干扰建模与分析。人体安全性与电磁干扰是实际应用中需要重点考虑的问题，第7章的内容向我们提供了一些富有启发性与借鉴意义的思路和方法。第8章对全书内容进行了总结并对未来工作面临的挑战进行了展望。

正如原作者所介绍的，本书对于那些对体域网感兴趣的研究生、工程师、研究人员，以及那些有志于发挥其在相关领域的专业特长、并将这些特长应用于体域网的研究、设计与开发中的专业人员，都是一本理想的参考书籍——引导读者从入门开始，逐步去认识一些更深入、更前沿的问题。

本书的前言、第1章和第8章由余春东教授翻译，第2~7章由刘凯明副教授翻译，全书由刘凯明副教授负责审校。程小雨、侯俊单、范媛媛、付昊同学参与了本书的部分整理及校对工作。本书的出版得到了许多人的支持和帮助，在此向所有为本书的出版给予支持和帮助的人们致以最诚挚的感谢！

由于译者水平有限，加之时间仓促，译文还有不妥甚至错误之处，敬请广大读者不吝批评指正。

最后，译者再次感谢机械工业出版社对本书翻译工作的大力支持与帮助。

译者

2014年8月于北京

前 言

过去的数十年见证了在人体区域，即紧邻人体的周边环境范围内，人们对无线通信的需求以及相关应用的快速增长。这些需求与应用主要围绕在用户识别、保健和医疗应用中，对个人信息的无线传输与联网。人体区域通信技术使得这些需求与应用变得更加可行。与传统的无线通信相比，在人体区域通信中，人体充当了通信的媒质——有时候是不利的，有时候则是有益的。这无疑是对传统无线通信的一种大胆创新。正如所预料的那样，当人体作为一种通信媒质时，它与传统的无线通信媒质（空气），具有不同的特性。如今，越来越多的人正在努力探索人体内在的未知特性，以使人体区域通信能够更好地服务于人们的生活。

正如这一领域中许多研究人员所注意到的，人体区域通信作为一项新兴技术，不仅在娱乐及用户身份识别应用领域，也在日常保健和医疗应用领域具有广阔的发展前景。它所涵盖的知识范围包括了无线通信、生物电磁学领域。实际上，本书的两位作者已经在无线通信领域从事了很多年的研究工作。本书的第一作者，最初曾在企业和研究所工作了6年，以继续他在博士期间的研究工作——设计开发用于移动通信及个人计算机通信的无线收发器/系统；随后他进入大学工作，并开始从事与生物医学相关的电磁兼容性问题研究。2005年，当他成为一名全职教授时，他意识到自己同时具备的无线通信和生物电磁学领域的研究背景，非常适合去从事人体区域通信这一新领域的研究工作。这也促使我们开始了人体区域通信领域全面的研究工作。

然而，到目前为止，还没有一书籍能够系统和完整地介绍该领域的知识，并能够作为初学者的入门教材。两年前开始，我们分别为名古屋工业大学的研究生和德累斯顿工业大学的本科、硕士生开设了这门课程。在准备课程教材的过程中，我们开始考虑如何对我们的研究工作进行整理和汇总，以编写出一本系统性的、介绍性的书籍。幸运的是，John Wiley 国际出版公司的高级责任编辑 James Murphy 先生为我们提供了这样一个宝贵的机会。应 James Murphy 先生的盛情邀请，我们在2010年的一个国际会议上会面，并讨论了这本书的内容。

本书试图为那些想要了解人体区域通信领域知识或从事该领域研究工作的研究生和初级工程师、研究人员提供一本入门参考教材。全书首先介绍了在人体区域通信的各个可用频段上，人体的基本电磁特性以及对这些特性建模的方法，接下来介绍了用于人体信道建模的典型分析方法。基于这些基础知识，本书重点对3个主要领域的内容进行了介绍：人体信道建模、调制与解调性能分析和电磁兼容问题。本书大部分内容都是基于我们实验室的研究工作整理而成。

本书将从入门教程的角度对以下一些内容进行详细介绍：

- 人体区域通信的可用频段以及预期的应用；
- 人体在不同频段的电磁特性以及对这些电磁特性建模的方法；
- 不同频段下信号的主要传播机理；
- 体内通信与体表通信的信道模型；
- 人体区域通信中的调制与解调方法以及差错概率分析；
- 在不同可用频段下，体表和体内通信的各种调制与解调方案所对应的链路预算分析、误码率性能分析、RAKE 接收及分集接收技术；
- 在不同可用频段下，用于评估人体安全性的比吸收率（SAR）分析；
- 基于电磁场方法及电路方法的植入式心脏起搏器中电磁干扰建模；
- 一些有用的计算机代码——用于生成信道模型、分析误码率以及估算比吸收率。

本书的完成得益于很多人的无私奉献与帮助。首先，深深感谢责任编辑 James Murphy 先生为我们提供了宝贵的撰写机会，感谢策划编辑 Shelley Chow 女士在整理原稿期间给予我们的巨大帮助以及她的极大耐心，没有他们的支持与努力这本书不可能出版。其次，借此机会对 5 位审稿人表示感谢，他们提供了许多建设性的意见和建议，帮助我们最终完成了全书的撰写。第三，感谢名古屋工业大学实验室的同事和学生们，尤其是 Daisuke Anzai 博士和 Jingjing Shi 博士，他们为书中的分析及实验数据做出了重要贡献。最后，我们也要感谢我们的家人：第一作者的家人 Su-fang、Moe 和 Mizuki，第二作者的家人 Hui 和 Nina，我们用了大部分的闲暇时间来撰写这本书，因而不能陪伴他们——对此我们深感抱歉，非常感谢他们的支持与理解！

我们衷心地希望，对于初涉人体区域通信这一新兴的、令人振奋的研究领域的人员来说，本书能够成为一本既有趣、又有用的入门书籍。

Jianqing Wang

名古屋工业大学

Qiong Wang

德累斯顿工业大学

目 录

译者序

前言

第 1 章 认识人体区域通信	1
1.1 定义	1
1.2 应用前景	2
1.2.1 医疗与保健应用	2
1.2.2 残疾人辅助	6
1.2.3 消费电子产品与用户识别	6
1.3 可用频段	7
1.3.1 UWB 频段	7
1.3.2 MICS 频段	8
1.3.3 ISM 频段	9
1.3.4 HBC 频段	9
1.4 标准化工作 (IEEE 802.15.6-2012 标准)	10
1.4.1 窄带 PHY 规范	11
1.4.2 UWB 频段 PHY 规范	12
1.4.3 HBC 频段 PHY 规范	14
参考文献	16
第 2 章 人体电磁特性	18
2.1 人体的组成	18
2.2 与频率相关的介电特性	19
2.3 人体组织特性建模	20
2.4 与年龄相关的人体组织特性	27
2.5 透入深度与频率的关系	31
2.6 体内吸收特性	34
2.7 体表传播机理	37
2.8 绕射特性	42
参考文献	45
第 3 章 电磁分析方法	46
3.1 时域有限差分方法	46
3.1.1 公式表述	46

3.1.2	吸收边界条件	49
3.1.3	场的激励	52
3.1.4	FDTD 方法流程图及代码	53
3.1.5	频率相关的 FDTD 方法	56
3.2	MoM - FDTD 混合方法	58
3.2.1	矩量法的公式表述	59
3.2.2	散射场 FDTD 的公式表述	61
3.2.3	MoM 和 FDTD 方法的混合	61
3.3	有限元法	63
3.4	数字人体模型	67
	参考文献	71
第 4 章	人体区域信道建模	72
4.1	引言	72
4.2	路径损耗模型	73
4.2.1	自由空间路径损耗	73
4.2.2	体表 UWB 频段路径损耗	74
4.2.3	体内 UWB 频段路径损耗	80
4.2.4	体内 MICS 频段路径损耗	84
4.2.5	HBC 频段路径损耗及等效电路表示	87
4.3	多径信道模型	96
4.3.1	Saleh - Valenzuela 冲激响应模型	97
4.3.2	体表 UWB 信道模型	97
4.3.3	体内 UWB 信道模型	109
	参考文献	114
第 5 章	调制与解调	117
5.1	引言	117
5.2	调制方式	118
5.2.1	ASK、FSK 和 PSK 调制方式	118
5.2.2	IR - UWB 方式	120
5.2.3	MB - OFDM 方式	123
5.3	解调与错误概率	127
5.3.1	ASK、FSK 和 PSK 信号的最佳解调	127
5.3.2	ASK、FSK 和 PSK 信号的非相干检测	130
5.3.3	IR - UWB 信号的最佳解调	132
5.3.4	IR - UWB 信号的非相干检测	134
5.3.5	MB - OFDM 信号解调	136
5.4	RAKE 接收	137
5.5	分集接收	142

参考文献	147
第 6 章 人体区域通信性能分析	148
6.1 引言	148
6.2 体表 UWB 通信	148
6.2.1 BER	149
6.2.2 链路预算	159
6.2.3 最大通信距离	162
6.3 体内 UWB 通信	164
6.3.1 BER	165
6.3.2 链路预算	170
6.4 体内 MICS 频段通信	175
6.4.1 BER	175
6.4.2 链路预算	176
6.5 人体通信	179
6.5.1 BER	179
6.5.2 链路预算	180
6.6 双模式人体区域通信	181
参考文献	183
第 7 章 电磁兼容性考虑	184
7.1 引言	184
7.2 SAR 分析	185
7.2.1 安全导则	185
7.2.2 分析与评估方法	187
7.2.3 发射功率与 SAR	194
7.3 心脏起搏器电磁干扰分析	203
7.3.1 心脏起搏器模型及干扰机理	203
7.3.2 电磁场方法	206
7.3.3 电路方法	207
7.3.4 发射信号强度与干扰电压之间的关系	210
7.3.5 实验评估系统	216
参考文献	219
第 8 章 总结与未来挑战	220

第 1 章 认识人体区域通信

电子产品在微型化和低功耗道路上的不断进步，以及近期无线通信技术的不断发展，使得人们对人体区域范围内无线通信的需求快速增长。在人体区域通信的应用场景中，各种通信设备可能处于人体表面、人体内部或者人体附近，构成无线通信链路或小型通信网络，用于共享数据、降低功能冗余和提供新服务。作为一项新兴的通信技术，人体区域通信有望在诸多方面发挥重大作用，尤其是在医疗、保健和消费电子产品应用领域。通过将体表/体内各种主要的传感器连接起来，建立一个能够处理人体健康信息的体域网（BAN），人体区域通信技术将使高质量的医疗服务成为可能。此外，它也将为消费电子产品和用户识别系统带来更高的便利性和安全性。

1.1 定义

人体区域通信是一种在人体周围或人体内部进行的短距离无线通信技术。与其他短距离通信技术如蓝牙和 ZigBee 不同，它只在人体区域内进行通信，这个区域指的是紧邻人体的周围环境，它只包含人体周围最近的物体，也可能是人体的一部分。

体域网（BAN）是人体区域通信中最具前景的一个应用场景，目前正受到密切关注，尤其是在医疗和保健应用方面。BAN 这个概念最早由 Zimmermann 提出（1996 年），IEEE 802.15.6 标准任务组（IEEE 802.15 TG6）给出了 BAN 的定义——BAN 借助射频无线电工作在人体区域范围内，提供了一个由可穿戴式及位于人体内部的植入式传感器/装置组成的无线通信网络。这个网络可以持续地测量人体状况，并将人体重要的信号或者生理数据传送出去，从而方便地实现对人体的远程监测，可以用于医疗保健服务、残疾人辅助、娱乐活动以及用户识别等方面。由于 BAN 工作于人体表面或人体内部，并且主要用于处理个人信息，因此一些对网络的要求需要予以考虑，例如在支撑服务质量方面，应考虑如何保持高可靠性的通信链路、以极低的功耗实现长期工作、实现高数据速率用于实时传输等。另外，人体区域通信采用人体作为传输媒质。在人体区域内，发射机和接收机距离非常近。这意味着我们必须考虑人体对发射天线和接收天线的影晌。人体充当传输媒质时，不仅引入了完全不同的传输信道特性，同时还带来了对人体的安全性问题。相对于其他无线通信应用，人体区域通信更需要优先考虑人体的安全性。

此外，根据 BAN 工作在人体表面还是人体内部，可以将其分为可穿戴式 BAN

和植入式 BAN。可穿戴式 BAN 由附着于人体之上的所有通信设备组成, 而植入式 BAN 则包含一些体内设备, 这些体内设备可以与体表或体外设备进行通信。不同的工作环境使得可穿戴式 BAN 和植入式 BAN, 或者说体表通信和体内通信之间, 存在诸多不同。首先, 体表通信主要受到人体形状和结构带来的阴影效应以及人体动作造成的多径衰落的影响, 而体内通信则主要受到电磁波穿过有耗人体组织时产生的信号严重衰减的影响 (Hall 和 Hao, 2006 年), 这些因素使得这两种通信方式所需要的工作频段不同。其次, 体内通信器件由于位于人体内部, 一般受到的功率限制更大, 有时还要求具备更小的体积或特殊的形状。这两种通信方式都需要考虑生物电磁兼容性问题或者发射功率限制问题, 以确保人体的安全。

1.2 应用前景

人体区域通信应用和使用模式有许多种不同的类型, 表 1.1 给出了分类结果 (Astrin、Li 和 Kohno, 2009 年): ①医疗与保健应用; ②残疾人辅助; ③消费电子产品及用户识别。

表 1.1 人体区域通信应用的分类

医疗与保健应用	残疾人辅助	消费电子产品及用户识别
医疗检查	盲人	无线耳机
医疗诊断和治疗	语言障碍	音频/视频流共享
身体康复	假肢	用户识别
生理监测	老年人事故预防	自动支付

1.2.1 医疗与保健应用

1.2.1.1 医院及家庭保健监测

如今, 人口的老龄化使人们对基于无线通信技术的更加先进、更加有效的医疗与保健手段, 提出了广泛的需求。例如, 以无线的方式对医院及家庭中患者的健康状况进行监测, 这一需求正急剧增长。这是因为通过无线的方式对患者进行监测可以有效地降低有线连接带来的不便, 并且使人们待在家中就可以被远程监测, 这样可以有效地节省时间和资源。

人体区域通信技术为广泛实现这类医疗与保健服务提供了可能 (Li、Yazdandoost 和 Zhen, 2010 年)。这类服务将涵盖 3 个领域: 医疗检查、身体康复和生理监测。作为典型的使用模式, 一套人体区域通信装置包含一个收发机, 同时结合有一个或一组人体健康状况信息传感器。对于医疗检查应用, 这些传感器可以采集脑电图 (EEG) 数据以监测大脑的电活动、采集心电图 (ECG) 数据以监测心脏活动、采集呼吸数据以监测呼吸系统, 另外还可以监测血压、心率和体温等; 对于身

体康复应用，有多种传感器可以作为备选，例如用于监测意外跌倒的倾斜传感器、用于监测步伐的脚步传感器、用于监测人体活动的运动传感器、用于监测呼吸系统的呼吸传感器，还有血压传感器、心率传感器和体温传感器等；对于生理监测应用，则会用到监测瞬时动作的加速度传感器、监测步伐的脚步传感器、监测呼吸系统的呼吸传感器，以及血压传感器、心率传感器和体温传感器等。

这些传感器数据的一个典型用途是在医院里对病人身体状况的实时监测，另一个典型用途是对家中老年人的健康状况进行实时监测。通过将这些传感器附着于病人或者老年人身上，就可以自动采集重要的生理状况数据，并将这些数据传送给医院或者医疗中心的工作人员，用于实施医疗和保健管理（Bonato, 2010年）。图1.1给出了这两种应用的实现原理。传感器数据汇集到位于体表的服务器（用图中人体中心处的圆圈表示），然后被传送到医院或者医疗中心。传感器到体表服务器的无线链路需要采用人体区域通信技术，而将数据传送到医院或医疗中心则可以通过蜂窝通信系统或者局域网（LAN）。这种应用模式可以减轻医务人员的工作负担，提高对病人或家中老年人健康管理的效率。此外，对医院里的病人监测系统简单扩展后，也可以将其应用于体育训练中心，用于监测运动员的生理信息。借助体表通信技术，将生理信息传感器的数据收集起来后传送给教练员，可以用于对训练活动的分析及管理。

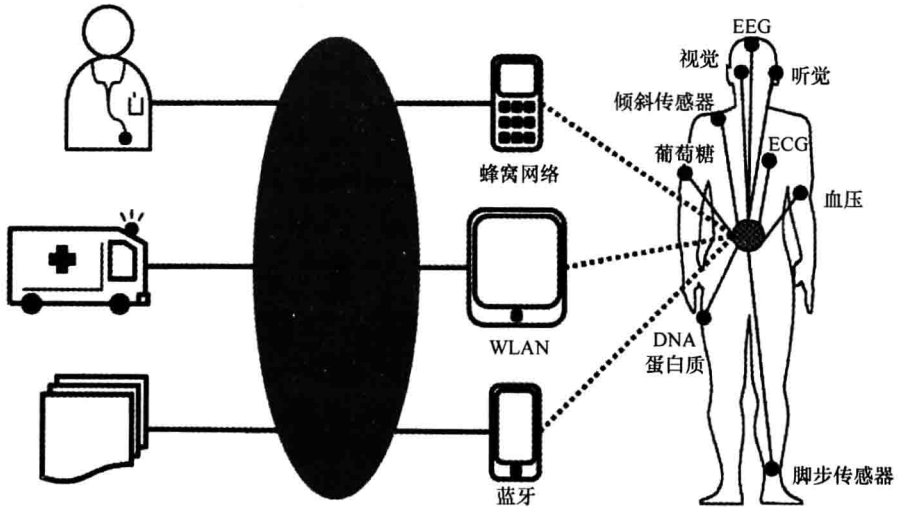


图 1.1 用于医疗保健应用的人体区域通信基本原理

1.2.1.2 车内健康监测

人体区域通信技术在健康监测领域的应用非常广泛。其中一种非常有前景的应用是作为车内通信手段对驾驶员的健康状况进行监测。如图1.2所示，在这种应用场景下，一些重要的传感器被放置在驾驶员身上，用来收集 ECG、血压和脉搏等

健康状况数据。另外, 这些重要的传感器也可以被嵌入到驾驶员的座椅、安全带或者方向盘内, 从而使驾驶员觉察不到穿戴了这些传感器。之所以选择车内的这些位置是因为在驾驶过程中这些地方会一直与驾驶员的身体相接触。这类系统能够很容易地采集驾驶员的健康状况数据, 并利用人体区域通信技术将这些数据传送到控制单元。然后控制单元对驾驶员的健康状况进行分析, 在必要时发出警示信号或者自动控制车辆, 从而确保行驶安全。

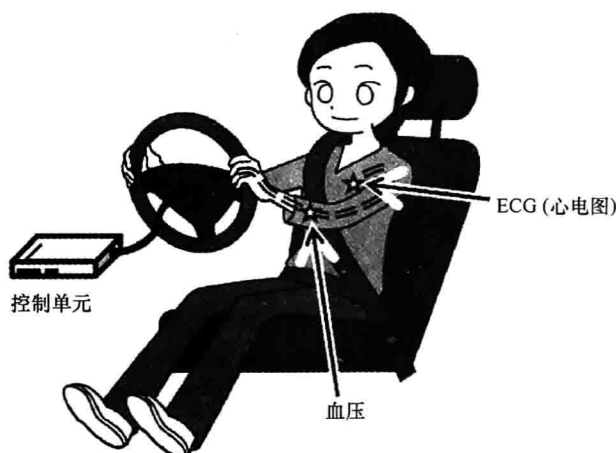


图 1.2 车内健康监测系统原理

1.2.1.3 医疗诊断和治疗

人体区域通信也可以用于医疗诊断和治疗。在这种应用场景下, 一套体内的应用装置将包含一个传感器、一个收发器和一个执行单元。传感器数据由无线收发器传送到体表或体外控制单元, 控制单元实施医疗测量, 并向执行单元发出相应的医疗指令。执行单元根据收到的指令实施医学治疗。这种应用的一个例子是自动控制心脏起搏器 (Bradley, 2007 年)。心脏起搏器是一种电子装置, 用于帮助那些患有心律不齐病症的人们。如图 1.3 所示, 首先, 心脏起搏器通过传感器采集交感神经信号, 并将其发送到控制单元; 然后, 控制单元计算出正确的心跳频率并向起搏器发出指令; 最后, 起搏器帮助人体将心率调整到正确的跳动频率。

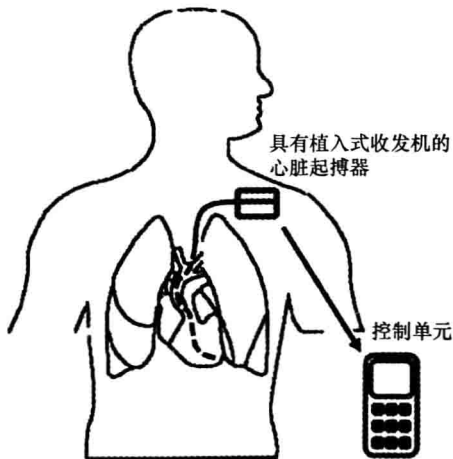


图 1.3 心脏起搏器的体内至体表/体外通信场景

人体区域通信应用于医疗诊断的另一个例子是胶囊内窥镜。这种可吞服的胶囊包含一个摄像头和一个收发器。胶囊被吞服后，在通过消化道时会拍摄图片，并将图片或视频数据实时地由体内收发器传送至体外的医疗仪器。图 1.4 给出了这种应用的原理，这种应用能有效地促进无创医疗诊断的普及与发展。

此外，用于糖尿病患者的自动胰岛素注射也是人体区域通信的一种潜在应用。结合有人体区域通信技术的注射控制单元，根据来自皮下葡萄糖传感器的数据确定胰岛素注射的正确剂量，然后胰岛素泵根据控制单元的指令实施注射。

用于传输各种医疗和保健数据所需要的数据传输速率 f_b 可以由公式 $f_b = N_c f_s N_b$ 计算得到，其中 N_c 为所用信道数， f_s 为采样速率， N_b 为量化比特数目。对于体表传感器数据，通常以0.2~256Hz的采样速率进行采样，并由12或16位模-数转换器进行量化。另一方面，胶囊内窥镜原始数据的实时传输则可能需要76Mbit/s的速率，即使采用图像压缩技术，为保证高质量的图片或视频传输，仍然需要高达10Mbit/s的数据传输速率。表1.2总结了一些医疗与保健信息在人体区域通信系统中传输时所需数据传输速率的预估值（Misic J. 和 Misic V. B.，2010年）。人体区域通信系统应能够支持从几bit/s~10Mbit/s范围的数据传输速率。

表 1.2 医疗与保健信息传输所需数据速率

健康状况信息	数据传输速率
体表	
ECC	36kbit/s
EEG	98kbit/s
脉搏	2.4kbit/s
呼吸频率	1.0kbit/s
血压	1.92kbit/s
心率	1.92kbit/s
体温	2.4bit/s
体内	
胶囊内窥镜	10Mbit/s

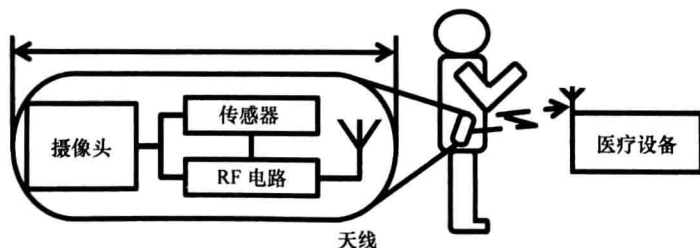


图 1.4 无线胶囊内窥镜应用中的体内至体表/体外通信

1.2.2 残疾人辅助

对于第二类应用, 同样存在许多潜在的应用场景 (Li、Takizawa 和 Kohno, 2008 年)。其中一个典型的应用场景是视障人士辅助。在这个应用场景中, 附着于物品上的传感器与穿戴在人体上的收发器之间建立一条人体区域无线通信链路, 并预先设置好这些传感器与收发器之间的合适距离。当一个人遗忘自身携带的物品并且离开它们的距离超出预设的范围时, 收发器将会自动发出报警信号。此外还有一些更为先进的应用, 例如可以将一个具备体表通信功能的摄像头安置于视障人士的身体上, 摄像头拍摄的图片被传送到体表控制单元, 控制单元将图像转换成语音信号, 就可以为视障人士提供引导。类似的原理也可以用于为语言障碍人士提供辅助, 在这种应用中传感器用来捕捉手指以及整只手的运动, 所采集到的信息被转换成语音, 从而帮助语言障碍人士“说话”。

用于对老年人进行事故预防或抢救, 也是人体区域通信一种具有广阔前景的应用。例如, 老年人可以穿戴能监测步伐的脚步传感器或者能监测意外跌倒的倾斜传感器。借助人体区域通信技术, 这些传感器数据被持续地传送到体表接收器。如果传感器探测到任何异常情况, 接收器将给老年人发出报警信号或者向周围发出报警声音。

1.2.3 消费电子产品与用户识别

第三类应用是消费电子产品之间的通信连接。一个典型的例子是将耳机和音乐播放器进行无线连接。利用人体区域通信技术, 我们不仅可以取消连接线缆、提高连接的便利性, 还提供了一种对音频或视频流进行资源共享的手段。这类应用有许多例子, 例如, 两人或多人可以通过使用无线耳机共享同一个音乐播放器, 人们也可以通过握手来实现交换名片信息。

另外, 在用户识别和人机接口方面, 人体区域通信技术也提供了一种趋于更加直观的应用范例 (Balduş 等, 2009 年)。通过穿戴一个体表收发器, 我们可以通过触摸机器的方式与机器之间建立人体区域通信链路, 从而实现与机器进行通信。例如, 我们可以将用户识别功能嵌入到体表收发器以及入口的大门中。然后, 当我们触摸到门把手时, 收发器与门把手之间就建立起一条体表通信链路, 门锁就被打开。一个与之类似的应用是将用户识别功能嵌入到个人计算机的鼠标中。这样, 不用输入密码, 我们只需要触摸鼠标, 就能自动完成对用户的识别。一种更为先进的应用是将自动支付功能嵌入到体表收发器中, 这样的系统可以被应用于自动检票口处人们的通行。只要人体接触到检票口出的闸门, 闸门就会打开, 同时完成购票费用的支付。