



信息科学技术学术著作丛书

# 统计信号处理： 医学信号分析与处理

邱天爽 唐 洪 刘海龙 编著



科学出版社



中国医药出版社

# 统计信号处理： 医学信号分析与处理

张永清 主编



信息科学技术学术著作丛书

# 统计信号处理： 医学信号分析与处理

邱天爽 唐 洪 刘海龙 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

医学信号分析与处理是生物医学工程专业本科生和研究生的专业基础课,旨在培养学生基本掌握现代统计信号处理的理论与方法,并能够结合临床研究与应用,利用信号处理手段解决医学诊断与治疗方面的相关问题。全书共分为10章,包括:绪论,常见的医学信号及其检测,随机信号与非线性信号分析基础,信号检测与参数估计,随机信号的相关函数估计与功率谱估计,维纳滤波与卡尔曼滤波,自适应滤波及其应用,非平稳生物医学信号分析与处理,非高斯生物医学信号分析与处理,生物医学信号分析与处理的应用实例。

本书适合作高等院校生物医学工程专业或电子信息类专业本科生与硕士研究生的教材或教学参考书,也可以供相关教师和工程技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

统计信号处理:医学信号分析与处理/邱天爽,唐洪,刘海龙编著.  
—北京:科学出版社,2012

(信息科学技术学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-033286-8

I. 统… II. ①邱…②唐…③刘… III. 医学统计—统计信号—信号处理  
IV. R195.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第001682号

责任编辑:魏英杰 杨向萍/责任校对:李 影

责任印制:赵 博/封面设计:陈 敬

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年2月第一版 开本:B5(720×1000)

2012年2月第一次印刷 印张:22 1/2

字数:436 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《信息科学技术学术著作丛书》序

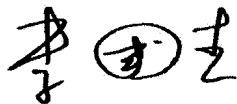
21世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代，一场以网络科学、高性能计算和仿真、智能科学、计算思维为特征的信息科学革命正在兴起。信息科学技术正在逐步融入各个应用领域并与生物、纳米、认知等交织在一起，悄然改变着我们的生活方式。信息科学技术已经成为人类社会进步过程中发展最快、交叉渗透性最强、应用面最广的关键技术。

如何进一步推动我国信息科学技术的研究与发展；如何将信息技术发展的新理论、新方法与研究成果转化为社会发展的新动力；如何抓住信息技术深刻发展变革的机遇，提升我国自主创新和可持续发展的能力？这些问题的解答都离不开我国科技工作者和工程技术人员的求索和艰辛付出。为这些科技工作者和工程技术人员提供一个良好的出版环境和平台，将这些科技成就迅速转化为智力成果，将对我国信息科学技术的发展起到重要的推动作用。

《信息科学技术学术著作丛书》是科学出版社在广泛征求专家意见的基础上，经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播网络科学和未来网络技术，微电子、光电子和量子信息技术，超级计算机、软件和信息存储技术，数据知识化和基于知识处理的未来信息服务业，低成本信息化和用信息技术提升传统产业，智能与认知科学、生物信息学、社会信息学等前沿交叉科学，信息科学基础理论，信息安全等几个未来信息科学技术重点发展领域的优秀科研成果。丛书力争起点高、内容新，导向性强，具有一定的原创性；体现出科学出版社“高层次、高质量、高水平”的特色和“严肃、严密、严格”的优良作风。

希望这套丛书的出版，能为我国信息科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时，欢迎广大读者提出好的建议，以促进和完善丛书的出版工作。

中国科学院计算技术研究所所长



## 前 言

生物医学信号分析与处理技术是现代医学诊断和治疗设备的核心支撑技术之一。近年来,随着数字信号处理技术和计算机技术的飞速发展,生物医学信号处理技术也得到了长足的进步和广泛的应用。一方面,医学诊断与治疗中出现的新问题不断给医学信号分析与处理提出新的研究课题,另一方面,医学信号分析与处理的发展与普及为临床医学的诊断与治疗提供了有力的工具。

“医学信号分析与处理”是生物医学工程专业本科生的专业基础课,其目标是培养学生基本掌握现代统计信号处理的理论与方法;能够结合临床研究与应用,利用信号处理的手段,解决医学诊断与治疗方面的信号分析与处理问题。为此,我们进行了广泛的文献资料调研,在参考借鉴国内外出版的多本优秀著作和教材的基础上,编写了本书。本书可作为高等院校生物医学工程专业及电子信息类专业本科生与硕士研究生“医学信号分析与处理”或“统计信号处理”等课程的教材,也可供相关教师和工程技术人员参考。

全书共分为10章,包括:绪论,常见的医学信号及其检测,随机信号与非线性信号分析基础,信号检测与参数估计,随机信号的相关函数估计与功率谱估计,维纳滤波与卡尔曼滤波,自适应滤波及其应用,非平稳生物医学信号分析与处理,非高斯生物医学信号分析与处理,生物医学信号分析与处理应用实例。

本书的各章节编写人员为:刘海龙(第1,2章),邱天爽(第3~7章),唐洪(第8~10章)。全书由邱天爽统稿。

感谢大连理工大学电子信息与电气工程学部领导对本书编写工作给予的关怀和支持,感谢生物医学工程系各位老师提供的帮助,感谢大连理工大学教材建设出版基金对本书出版的资助,特别感谢硕士研究生米红妹、李岱熹、赵春煜、徐轶林、张欢、高珊、孙思婷和张彪等同学为本书的编写提供的计算机仿真、资料搜集和书稿校对帮助。

由于时间仓促加之作者水平所限,本书难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

2011年12月于大连理工大学

# 目 录

《信息科学技术学术著作丛书》序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 医学信号的分类与特点 .....	1
1.1.1 医学信号概述 .....	1
1.1.2 医学信号的分类.....	2
1.1.3 医学信号的特点.....	3
1.2 医学电信号及其产生机制 .....	4
1.2.1 细胞的生物电现象.....	4
1.2.2 细胞生物电信号的产生机制 .....	7
1.3 医学信号的采集.....	10
1.3.1 医学信号采集系统组成.....	10
1.3.2 医学信号采集中的噪声与干扰 .....	11
1.3.3 安全问题.....	14
1.4 医学信号分析与处理的作用.....	14
思考题 .....	15
<b>第 2 章 常见的医学信号及其检测</b> .....	16
2.1 心电信号.....	16
2.1.1 心电信号的产生 .....	16
2.1.2 心电信号的特点 .....	18
2.1.3 心电信号的采集 .....	20
2.2 脑电信号.....	23
2.2.1 脑电信号的产生 .....	23
2.2.2 脑电信号的分类及其特点.....	24
2.2.3 脑电信号采集 .....	25
2.2.4 脑电信号的应用 .....	27
2.3 诱发电位信号.....	27
2.3.1 诱发电位的产生 .....	27
2.3.2 皮层诱发电位的特点 .....	28
2.3.3 诱发电位的采集 .....	29

2.4	肌电信号	29
2.4.1	肌电信号的产生	29
2.4.2	肌电信号的特点	31
2.4.3	肌电信号的采集与应用	32
2.5	胃电信号	32
2.5.1	胃电信号的产生	32
2.5.2	胃电信号的特点及其应用	33
2.5.3	胃电信号的检测	34
2.6	心音信号	34
2.6.1	心音信号的产生	34
2.6.2	心音信号的特点	34
2.6.3	心音信号的检测	35
2.7	脑磁图	36
2.7.1	脑磁信号的产生	36
2.7.2	脑磁信号的应用特点	36
2.7.3	脑磁信号的采集	37
2.8	常见的医学图像	37
2.8.1	常见医学图像及其产生原理	38
2.8.2	医学图像的发展趋势	39
	思考题	40
<b>第3章</b>	<b>随机信号与非线性信号分析基础</b>	<b>41</b>
3.1	医学信号的随机性与非线性	41
3.2	随机变量的概念与特性	42
3.2.1	随机变量的概念	42
3.2.2	随机变量的分布	43
3.2.3	随机变量的数字特征	45
3.2.4	随机变量的特征函数	48
3.3	随机信号与随机过程	48
3.3.1	随机过程与随机信号及其统计分布	48
3.3.2	平稳随机信号	51
3.3.3	各态历经性	52
3.3.4	非平稳随机信号	53
3.4	常见的随机信号与随机噪声	54
3.4.1	高斯(正态)分布随机信号	54
3.4.2	白噪声与带限白噪声过程	55



---

3.4.3 高斯-马尔可夫过程 .....	56
3.4.4 其他常见随机噪声 .....	56
3.5 随机信号的统计分析方法 .....	57
3.5.1 随机信号的古典分析方法 .....	57
3.5.2 随机信号的现代参数模型方法 .....	60
3.6 医学信号非线性分析简介 .....	66
3.6.1 分形的概念 .....	66
3.6.2 混沌信号处理 .....	67
思考题 .....	69
习题 .....	70
<b>第4章 信号检测与参数估计 .....</b>	<b>73</b>
4.1 概述 .....	73
4.1.1 信号检测的基本任务 .....	73
4.1.2 信号检测问题中的各种概率描述 .....	74
4.1.3 信号参数估计的基本任务 .....	74
4.1.4 参数估计的评价准则 .....	75
4.2 信号检测的极大后验概率准则 .....	76
4.2.1 极大后验概率准则的基本思路 .....	76
4.2.2 二元问题的 MAP 准则推导 .....	77
4.2.3 极大后验概率准则的检测性能 .....	79
4.2.4 进一步的讨论 .....	80
4.3 信号检测的最小错误率准则 .....	81
4.3.1 最小错误率准则的基本思路 .....	81
4.3.2 二元问题的 MPE 准则推导 .....	81
4.4 信号检测的贝叶斯准则 .....	82
4.4.1 贝叶斯准则的基本思路 .....	82
4.4.2 二元问题的贝叶斯准则推导 .....	83
4.5 信号检测的纽曼—皮尔逊准则 .....	84
4.5.1 纽曼—皮尔逊准则的基本思路 .....	84
4.5.2 二元问题的纽曼—皮尔逊准则推导 .....	84
4.5.3 纽曼—皮尔逊准则的进一步讨论 .....	86
4.6 多次观测与多元检测简介 .....	88
4.6.1 多次观测 .....	88
4.6.2 多元检测 .....	88
4.7 参数的非线性估计 .....	89

4.7.1	贝叶斯估计	89
4.7.2	极大似然估计	93
4.7.3	观测为矢量的情况	94
4.8	估计量的性质	95
4.8.1	非随机参数估计的克拉美—罗下界	95
4.8.2	随机参数估计的克拉美—罗下界	96
4.8.3	MS估计的无偏性	97
4.9	参数的线性估计	97
4.9.1	参数非线性估计的局限性	97
4.9.2	线性均方估计	98
4.9.3	递推估计	100
4.9.4	最小二乘估计	102
	思考题	104
	习题	105
<b>第5章</b>	<b>随机信号的相关函数估计与功率谱估计</b>	<b>108</b>
5.1	相关函数与功率谱密度函数	108
5.1.1	相关函数	108
5.1.2	功率谱密度函数	110
5.2	自相关序列的估计	111
5.2.1	自相关序列的无偏估计	111
5.2.2	自相关序列的有偏估计	113
5.2.3	自相关序列的快速估计方法	114
5.3	功率谱估计的经典方法	115
5.3.1	功率谱估计的发展概况	115
5.3.2	周期图谱估计方法	118
5.3.3	周期图谱估计的性能	118
5.3.4	改善周期图谱估计性能的方法	121
5.4	功率谱估计的现代方法	125
5.4.1	经典谱估计存在的问题	125
5.4.2	AR模型谱估计方法	125
5.4.3	最大熵谱估计方法	129
5.4.4	MA模型与ARMA模型谱估计方法	131
5.4.5	最小方差谱估计方法	132
5.4.6	皮萨伦科谱分解方法	134
5.4.7	基于矩阵特征分解的谱估计方法	135

5.4.8 各类现代谱估计方法的比较 .....	137
5.5 谱估计方法在医学信号分析中的应用 .....	139
5.5.1 脉搏信号的功率谱分析 .....	139
5.5.2 基于脑电图功率谱分析的读字困难症识别 .....	139
5.5.3 结肠压力信号的功率谱分析 .....	140
思考题 .....	141
习题 .....	142
<b>第6章 维纳滤波与卡尔曼滤波</b> .....	<b>145</b>
6.1 概述 .....	145
6.1.1 维纳滤波器的概念 .....	145
6.1.2 卡尔曼滤波器的概念 .....	146
6.2 随机信号预测、滤波与平滑的基本方法 .....	147
6.2.1 随机信号的预测 .....	147
6.2.2 随机噪声的滤除 .....	148
6.2.3 随机信号的插值 .....	149
6.3 维纳滤波器的基本原理与方法 .....	150
6.3.1 因果维纳滤波器 .....	150
6.3.2 维纳—霍夫方程的求解 .....	151
6.4 维纳预测器 .....	158
6.4.1 因果维纳预测器 .....	158
6.4.2 $N$ 步纯预测器 .....	160
6.4.3 一步线性维纳预测器 .....	161
6.5 维纳滤波器在医学信号处理中的应用 .....	161
6.5.1 维纳滤波器提取诱发电位 .....	161
6.5.2 维纳滤波器提取诱发电位信号的另一个例子 .....	162
6.6 卡尔曼滤波器简介 .....	163
6.6.1 卡尔曼滤波器的基本原理 .....	163
6.6.2 卡尔曼滤波器的分析 .....	166
6.6.3 卡尔曼滤波器的计算 .....	167
6.7 卡尔曼滤波器的应用举例 .....	169
思考题 .....	172
习题 .....	173
<b>第7章 自适应滤波及其应用</b> .....	<b>175</b>
7.1 自适应滤波的基本概念 .....	175
7.2 横向自适应滤波器结构与随机梯度法 .....	176

7.2.1	横向自适应滤波器的结构及其性能函数	176
7.2.2	二次型性能表面的搜索	178
7.3	自适应滤波器的最小均方算法	182
7.3.1	最小均方算法	182
7.3.2	LMS算法的性能分析	184
7.3.3	LMS自适应滤波器的改进形式	191
7.3.4	应用中需要注意的问题	195
7.4	自适应滤波器的递归最小二乘算法	200
7.4.1	线性最小二乘原理	200
7.4.2	递归最小二乘自适应滤波器	201
7.4.3	应用中需要注意的问题	204
7.5	自适应滤波器在医学信号分析处理中的应用	204
7.5.1	自适应噪声抵消及其在医学信号噪声抑制中的应用	204
7.5.2	自适应谱线增强及其在医学信号分析处理中的应用	210
7.5.3	自适应系统辨识及其在医学信号分析处理中的应用	212
	思考题	213
	习题	214
<b>第8章</b>	<b>非平稳生物医学信号分析与处理</b>	<b>217</b>
8.1	概述	217
8.2	短时 Fourier 变换	218
8.2.1	短时 Fourier 变换的定义	218
8.2.2	短时 Fourier 分析的时间分辨率与频率分辨率	222
8.2.3	不同类型的窗函数对短时 Fourier 变换的影响	222
8.2.4	离散短时 Fourier 变换	224
8.3	Gabor 变换	225
8.3.1	临界采样 Gabor 分解	226
8.3.2	过采样 Gabor 分解	227
8.3.3	离散 Gabor 变换	227
8.4	小波分析基础	233
8.4.1	加窗 Fourier 变换与小波变换的时频网格	234
8.4.2	连续小波的离散化	238
8.4.3	多分辨分析	240
8.5	经验模式分解与希尔伯特—黄变换	246
8.5.1	经验模式分解	246
8.5.2	希尔伯特—黄变换	248

---

8.6	时频分析方法在心音信号分析中的应用 .....	252
8.6.1	心音信号 .....	252
8.6.2	第一心音的时频分析 .....	253
	思考题 .....	254
<b>第9章</b>	<b>非高斯生物医学信号分析与处理 .....</b>	<b>256</b>
9.1	概述 .....	256
9.1.1	非高斯信号处理的发展 .....	256
9.1.2	矩与统计量的概念 .....	258
9.1.3	二阶统计量及基于二阶统计量的信号处理 .....	259
9.1.4	高阶统计量及基于高阶统计量的信号处理 .....	259
9.1.5	分数低阶统计量及基于分数低阶统计量的信号处理 .....	260
9.2	高阶矩与高阶累积量 .....	261
9.2.1	高阶矩与高阶累积量的定义 .....	261
9.2.2	高斯信号的高阶矩和高阶累积量 .....	262
9.3	非高斯信号及相关统计量 .....	263
9.3.1	非高斯信号的定义 .....	263
9.3.2	矩和累积量的转换关系 .....	264
9.3.3	矩和累积量的性质 .....	266
9.3.4	高阶谱 .....	267
9.4	高阶统计量在脑电信号处理中的应用 .....	271
9.5	高阶统计量在独立分量分析技术中的应用 .....	275
9.5.1	主分量分析 .....	275
9.5.2	独立分量分析原理 .....	276
9.5.3	不确定性 .....	277
9.5.4	数据预处理 .....	278
9.5.5	快速 ICA 算法 .....	279
9.6	$\alpha$ 稳定分布与分数低阶统计量信号处理 .....	281
9.6.1	$\alpha$ 稳定分布的概念 .....	281
9.6.2	$\alpha$ 稳定分布的性质 .....	283
9.6.3	$\alpha$ 稳定分布的参数估计及样本产生 .....	284
9.7	分数低阶信号处理的基本理论 .....	285
9.7.1	分数低阶统计量 .....	285
9.7.2	$\alpha$ 稳定分布随机变量的线性空间 .....	288
9.7.3	$\alpha$ 稳定分布过程的线性理论 .....	288
9.7.4	分数阶过程的时域自适应滤波 .....	288

9.7.5 线性滤波 .....	289
9.8 分数低阶统计量理论在诱发电位潜伏期变化检测中的应用 .....	291
9.8.1 诱发电位概念及其临床意义 .....	291
9.8.2 传统的检测方法 .....	293
9.8.3 基于分数低阶统计量的 EP 潜伏期变化检测方法 .....	295
思考题 .....	299
<b>第 10 章 生物医学信号分析与处理的应用实例 .....</b>	<b>300</b>
10.1 心电信号的分析与处理 .....	300
10.1.1 心电信号的预处理方法 .....	300
10.1.2 心电信号 QRS 复合波的检测方法 .....	304
10.1.3 基于心电信号的心率变异检测 .....	307
10.1.4 一种无需检测 R 波的 HRV 计算方法 .....	308
10.2 心音信号的分析与处理 .....	311
10.2.1 心动周期与心音图 .....	311
10.2.2 听诊器及体表听诊区 .....	313
10.2.3 心音信号的频域及时频域分析 .....	315
10.2.4 心音包络的提取方法及分析 .....	317
10.2.5 心音信号循环平稳特性 .....	323
10.2.6 在有关循环频率域内消除心音信号的噪声和干扰 .....	324
10.3 血压信号的测量与分析 .....	330
10.3.1 柯氏音法测血压 .....	331
10.3.2 振动法测血压 .....	332
10.4 表面肌电信号及应用 .....	334
10.4.1 肌电图在神经传导速度测定中的应用 .....	335
10.4.2 肌电信号分析与特征提取 .....	339
10.4.3 肌电特征在运动模式识别中的应用 .....	340
10.4.4 肌电在假肢控制中的应用 .....	342
思考题 .....	343
<b>参考文献 .....</b>	<b>345</b>

# 第 1 章 绪 论

医学信号是指通过某些方法从人体采集得到的,可以反映人体生理状态的各种信号。由于医学信号与人体生理状态存在一定的对应关系,因而可用于对人体健康状况的评估,对于临床上诊断患者的疾病具有重要的作用。然而,原始的医学信号包含了大量的冗余信息或是与某种疾病不相关的非特异性信息,因此通过眼睛直接观察的方法很难得到对医学诊断有用的信息。为了得到比较直观的、可应用于临床诊断的信息,通常需要使用一些必要的特殊分析方法对原始医学信号进行一定的处理。另外,由于医学信号的采集不可避免地会引入一定的噪声,因此医学信号的采集和应用还涉及降噪等处理过程和方法。本章将简要介绍一些常用医学信号的分类及其主要特性,医学电信号的基本现象及其产生机制,医学信号的采集、分析及处理的主要作用。

## 1.1 医学信号的分类与特点

### 1.1.1 医学信号概述

常用的医学信号包括心电信号、脑电信号、诱发电位信号、肌电信号、胃电信号、心音信号、脑磁信号和一些常用的医学图像等。不同的医学信号具有不同的产生机制,反映人体生理信息的不同侧面,其信号幅度和频率具有特定的范围。医学信号的采集根据信号类型和采集位置的不同,常常需要不同的传感器。表 1.1 列举了一些常用医学信号的幅度频率范围、测量用传感器及其反映的信息。

表 1.1 常用医学信号的特点

医学信号	常用测量传感器	幅度范围	频率范围/Hz	所含信息
心电 (ECG)	体表电极、 心脏电极、 胎儿电极 (母亲腹部体表电极)	0.01~4mV(典型值 1mV) 典型值 50mV 典型值 0.01mV	0.05~250 0.05~250 0.05~250	反映心肌细胞产生、 传导或进行兴奋等 电活动的特点
脑电 (EEG)	头皮电极、 颅内电极	10~300 $\mu$ V 0.01~100mV	0.5~100 0.5~100	反映大脑运作过程 中皮层神经细胞整体 或局部电活动的 特点

续表

医学信号	常用测量传感器	幅度范围	频率范围/Hz	所含信息
诱发电位 (EP)	帽状、针状或表面电极	1~100 $\mu$ V	1~3000	反映相关神经元群或神经系统完成其功能时所表现出的电活动特点
肌电 (EMG)	针电极	0.1~5mV	5~2000	反映肌细胞兴奋时进行收缩所表现出的电活动特点
胃电 (EGG)	Ag/AgCl 表面电极	0.01~1mV	0~1	反映胃在完成其功能过程中胃平滑肌细胞电活动的特点
心音 (PCG)	压电、电容、电感、应变片换能器	在人耳的听觉阈值附近	0.005~2000	反映心脏在完成其泵血功能过程中所产生声音的特点

### 1.1.2 医学信号的分类

概括来说，医学信号是人体自发产生或外界刺激诱发产生的信号，主要包括生物电、生物磁、生物声、生物阻抗、生物流量和生物压力等物理信号，以及其他一些化学和生物信息信号。生物电信号是临床和科学研究经常用到的医学信号，包括心电、脑电、肌电和胃电等。其他的医学物理信号包括心音、脉搏、心冲击和 Korotkov 音等振动信息，血压和消化道内压等压力信息，心肌张力等力量信息，以及体温等热学信息。另外，血液和呼吸气体等还包含有丰富的化学和生物方面的信息。

从产生的方式来看，医学信号可分为内源信号 (internal source signal)、外源信号 (external source signal) 和感生信号 (induced signal)。

所谓内源信号，是指被检测的信号是由人体自发产生的，即检测对象是有源的，检测系统是无源的。例如，常见的心电、脑电、胃电、血压和心音等都属于内源信号。这些信号是人体生理和病理信息的载体。

所谓外源信号，是指并非人体本身自发产生信号，即被检测系统是无源的，而检测系统是有源的。人体在外界检测系统的作用下，对来自检测系统的信号产生透射、反射、折射或散射等作用，然后由检测系统再检测到这些经过人体变换后的信号。例如，常见的 B 型超声诊断系统、X 射线系统和光电血氧检测仪等所得到的信号均为外源信号。这些信号所携带的人体生理和病理信息是临床诊断



治疗的重要依据。

所谓感生信号，是指检测到的信号是由外源信号所感生或诱发的内源信号。在感生信号条件下，人体和检测系统均为有源的，但通常施感信号与感生信号的性质是不同的。例如，施感信号可以是各种物理、化学或电刺激，而感生信号则可能是诱发产生的电信号、磁信号或其他信号。常见的感生信号包括诱发电位信号和磁共振信号等。关于人体生理和病理的信息是通过信号中某些参数来携带的。

### 1.1.3 医学信号的特点

人体的生理系统非常复杂，如循环系统、神经系统、呼吸系统和消化系统等，系统之间又互相交织、互相渗透和互相影响。因此，由人体获得的医学信号是非常复杂的，与其他信号相比存在一些显著的特点，主要包括：

#### (1) 信号特别弱

生物医学信号一般属于非常弱的微弱信号，其中最强的心电信号的强度约为毫伏量级，从母体腹部获取的胎儿心电信号为  $10\sim 50\mu\text{V}$ ，脑干诱发电位的信号幅度小于  $1\mu\text{V}$ ，而离子通道电流信号则只有皮安量级。因此，在对生物医学信号进行处理之前，一般要求配置高性能的放大器对信号进行放大。

#### (2) 干扰噪声特别强

由于人体自身信号弱，同时人体又是一个复杂的容积导体，致使各种信号之间容易发生干扰重叠，因此需要采集的医学信号容易受到内在噪声和外界噪声的干扰。例如，胎儿心电混有肌电和工频信号等干扰成分，而且胎儿心电中含有母亲心电信息，由于其比较大的幅度，相对我们要提取的胎儿心电也变成了较强的噪声。类似地，在脑部采集的诱发电位信号也不可避免地要受到自发脑电信号的干扰。为此，医学信号通常需要使用某些算法进行特定的预处理，以便能够有效的抑制干扰和消除噪声。

#### (3) 频率比较低

生物医学信号一般属于低频信号。例如，脑电信号的频率范围为  $0.5\sim 100\text{Hz}$ ；胃电信号的频率范围为  $0\sim 1\text{Hz}$ ，中心频率为  $0.05\text{Hz}$ 。除心音和神经电位信号的频谱成分稍高外，其他电医学信号频率范围一般较低。较低的频率特性就要求放大器的时间稳定性比较好。

#### (4) 干扰与信号的频带重叠

干扰与信号的频带重叠是生物医学信号的一个重要特点，也是医学信号处理的一个难点。例如， $50\text{Hz}$  的工频干扰与大多数常用的生物医学信号的频带重叠。此外，大多数医学信号的频带也互相重叠，例如诱发电位与自发脑电信号的频带相互重叠。由于干扰与噪声频带的相互重叠，因此不能采用常规的滤波技术