

计算机在生物医学中的应用

庄天戈

东南大学出版社

内 容 简 介

本书系按电子工业部工科电子类专业教材1986~1990年编写出版规划,由《无线电技术与信息系统》教材编审委员会《仪表与测量》教材编审组审定为全国高等院校工科电子类的统编教材。

本书介绍计算机在生物医学中的主要应用,着重讨论带共性的各基本环节和基本方法,结合介绍计算机在生物医学应用中的重要领域。全书共分七章:第一至五章就生物医学数据采集、压缩、处理与显示各环节的计算机应用从原理到方法作了较详细的阐述;第六章讲述CT的常用算法及其计算机实现;第七章介绍医疗专家系统。

本书可供高等院校生物医学工程专业高年级学生或研究生作为教材和参考书,也可供其它领域有关工厂、科研部门的工程技术人员参考。

责任编辑:朱经邦

责任校对:刘娟娟

计算机在生物医学中的应用

庄天戈

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 武进第三印刷厂印刷

开本 787/1092 毫米1/16 印张18.25 字数 414 千

1991年3月第一版 1991年3月第一次印刷

印数: 1—1500册

ISBN 7—81023—394—7

TP·27 定价: 3.65元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的7个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”(第3轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划,由《无线电技术与信息系统》教材编审委员会《仪表与测量》编审小组征稿,推荐出版,责任编辑黄燮昌。

本教材由上海交通大学庄天戈编写,西安交通大学蔡元龙教授担任主审。

本课程的参考学时数为45学时,其主要内容含两大部份:第一部分包括第一至四章及第五章的前半部份。阐述计算机在生物医学仪器应用中的一些基本环节,包括医学数据采集、压缩、处理与显示。鉴于医学数据量大的特点,数据压缩对医学数据的存储、通信具有极重要的意义,本书对生物医学数据压缩从原理到方法作了较全面的阐述(第三章)。在生物医学信号的计算机处理一章(第四章)中,着重阐明计算机实时处理的基本方法,包括数字滤波、相干平均、相关处理与自适应滤波的概念等。在数字滤波一节中着力介绍整系数递归线性相位FIR数字滤波器在生物医学数据处理中的应用。第五章中除对医学仪器中常用的字符、简单图形、图像显示的基本原理作简单介绍外,着重介绍了近代生物医学仪器中常用的记忆示波、冻结、灰度变换以及数字扫描变换等技术。第二部分介绍计算机在生物医学两个重要领域中的应用:医用计算机断层成像术—CT及有关算法(第六章)和医疗专家系统(第七章)。这一部分还包括了三维医学图像的显示等新兴技术(第五章后半部分)。

本教材适用于生物医学工程专业本科高年级学生或研究生。各章内容相对独立。一般说来,要求读者修过“信号与系统”或“数字信号处理”等课程,个别章节还要用到“概率论”等基础知识,讲授时可根据学生具体情况选授其中有关章节。各章后面附有习题(含复习思考题)。有条件的学校还可安排一些大型作业,以加强实践性锻炼。

本书的编写得到上海交通大学精密仪器系和生物医学工程及仪器教研室领导与同仁们的关心和支持。上海交通大学生物医学工程及仪器专业84级吴亮、刘东、曹晓峰等同学为本书的一些算法编制程序进行验证。桑国珍同志详细地阅读了全部初稿,提出了许多宝贵意见,她还为本书的插图和文稿做了大量的工作。在此,表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

庄天戈

于上海交通大学

1989年12月

目 录

第一章 概 论	(1)
§ 1.1 生物医学与计算机	(1)
1.1.1 计算机对拓广医疗仪器性能的贡献	(3)
1.1.2 计算机在生物医学管理领域中的作用	(5)
§ 1.2 生物医学信号的分类与特点	(7)
1.2.1 直接信号及其特点	(8)
1.2.2 间接信号及其特点	(9)
习题	(10)
参考文献	(10)
第二章 生物医学数据采集系统	(11)
§ 2.1 数据采集的基本概念	(11)
§ 2.2 微机化医疗仪器中A/D通道的设计	(13)
2.2.1 A/D通道的结构形式	(13)
2.2.2 A/D通道设计原则 ^[1]	(15)
2.2.3 设计举例	(16)
§ 2.3 应用DMA技术的高速医学数据采集系统	(19)
2.3.1 DMA的概念	(19)
2.3.2 DMA控制器	(20)
2.3.3 DMA的工作过程	(21)
2.3.4 应用DMA控制器的高速数据采集系统举例	(22)
§ 2.4 利用周期选通采样的高速数据采集系统	(25)
习题	(26)
参考文献	(26)
第三章 生物医学数据压缩	(27)
§ 3.1 生物医学数据压缩的必要性	(27)
§ 3.2 数据压缩的基本原理	(28)
3.2.1 信息量、熵及多余度	(28)
3.2.2 压缩比	(32)
3.2.3 数据压缩系统的误差准则	(33)

§ 3.3 常用生物医学数据压缩算法	(34)
3.3.1 数据压缩方法分类	(34)
3.3.2 非多余采样编码法	(36)
3.3.3 变换编码法	(57)
3.3.4 预测编码法——DPCM数据压缩算法及其在ECG数据压缩中的应用	(75)
3.3.5 内插编码及其在ECG数据压缩中的应用	(83)
3.3.6 熵编码——哈夫曼码用于生物医学数据压缩	(86)
§ 3.4 放射图像数据压缩	(91)
3.4.1 基于游程长度编码的压缩方法	(92)
3.4.2 剪裁压缩法(Clipping)	(94)
习题	(95)
参考文献	(97)

第四章 生物医学信号的计算机处理

(99)

§ 4.1 生物医学信号处理中的数字滤波	(99)
4.1.1 整系数线性相位数字滤波器及其在生物医学数据处理中的应用	(100)
4.1.2 整系数线性相位数字滤波器的微型机实现	(112)
4.1.3 应用于生物医学仪器的其它数字陷波滤波器	(114)
4.1.4 基于最小二乘法多项式拟合的低通数字滤波器	(118)
§ 4.2 生物医学信号处理中的相干平均技术	(121)
4.2.1 相干平均原理	(121)
4.2.2 相干平均应用举例	(123)
4.2.3 空间叠加平均	(124)
§ 4.3 生物医学信号的相关处理	(125)
4.3.1 波形的相似性与相关系数	(125)
4.3.2 时移波的相似性与相关函数	(127)
4.3.3 相关技术的应用	(129)
§ 4.4 自适应滤波器	(132)
4.4.1 自适应滤波器的基本原理	(132)
4.4.2 LMS自适应算法	(135)
4.4.3 自适应噪声抵消器及其在生物医学信息提取中的应用	(137)
习题	(142)
参考文献	(143)

第五章 生物医学数据的显示

(145)

§ 5.1 概述	(145)
§ 5.2 字符与矢量产生器	(146)
5.2.1 字符产生器	(146)

5.2.2 矢量产生器	(150)
§ 5.3 简易图形显示原理	(154)
5.3.1 字符显示和数字视频转换	(154)
5.3.2 彩色字符显示与字符放大	(159)
5.3.3 简单图形的显示	(162)
5.3.4 生理参数监护系统显示器举例	(162)
§ 5.4 图像显示	(163)
5.4.1 图像显示器的构成	(164)
5.4.2 灰度变换	(165)
5.4.3 伪彩色显示	(168)
§ 5.5 数字扫描变换(DSC)	(170)
5.5.1 概述	(170)
5.5.2 实时扇形数字扫描变换系统举例	(172)
§ 5.6 生理信号的记忆示波	(175)
5.6.1 单道记忆示波原理及其实现	(175)
5.6.2 应用微机的医用多道记忆示波装置的设计	(178)
§ 5.7 三维生物医学数据的显示	(179)
5.7.1 概述	(179)
5.7.2 数值投影法	(181)
5.7.3 振动变焦镜法	(182)
5.7.4 表面显示	(184)
5.7.5 表面显示的图形学处理	(188)
习 题	(189)
参考文献	(190)

第六章 CT——计算机断层 成像术 (192)

§ 6.1 概 述	(192)
6.1.1 CT在医学成像中的地位	(192)
6.1.2 CT数	(196)
§ 6.2 反投影重建算法	(198)
6.2.1 反投影重建算法的物理概念	(198)
6.2.2 反投影重建算法的数学描述	(201)
6.2.3 正弦图(sinogram)	(203)
6.2.4 反投影重建算法的实现	(204)
§ 6.3 滤波反投影重建算法	(200)
6.3.1 投影定理	(206)
6.3.2 卷积反投影重建	(208)
6.3.3 平行射束卷积反投影重建算法的计算机实现	(210)
§ 6.4 扇束投影重建算法及其实现	(229)

习题.....	(234)
参考文献	(234)
第七章 医疗专家系统	(235)
§ 7.1 概述	(235)
7.1.1 专家系统的概念.....	(235)
7.1.2 专家系统的组成.....	(236)
§ 7.2 LISP语言简介	(239)
7.2.1 基本概念.....	(239)
7.2.2 算术运算函数.....	(239)
7.2.3 符号处理类函数.....	(240)
7.2.4 谓词.....	(243)
7.2.5 条件函数COND.....	(245)
7.2.6 定义新函数.....	(247)
§ 7.3 简单的专家系统示例	(253)
§ 7.4 知识表示	(267)
7.4.1 逻辑表示法.....	(267)
7.4.2 语义网络表示法.....	(270)
7.4.3 产生式表示法.....	(273)
§ 7.5 医疗专家系统举例——MYCIN.....	(274)
7.5.1 事实的表示.....	(276)
7.5.2 MYCIN的知识表示和推理机.....	(276)
7.5.3 MYCIN的解释接口	(281)
7.5.4 MYCIN的知识获取.....	(282)
习题.....	(282)
参考文献	(284)

第一章 概 论

§ 1.1 生物医学与计算机

先谈谈生物医学与工程技术的关系，也即生物医学工程。什么是生物医学工程？概括说来，用工程的观点与手段来处理医学问题，包括对疾病的诊断、治疗，对人体各系统机能的定性了解与定量研究，人体机能的康复和修复，以及与上述研究有关的数据传输、处理、管理等均属于生物医学工程的研究范围。

工程技术应用于医学，可追溯到1600年。当时在Padua有一位医学教授Sanctorius设计了测量病人体温、脉搏次数的仪器。在随后的几个世纪中，人们一直试图用工程的观点去解释人体的机能。18世纪，人们发现关节与杠杆类似，肌肉与弹簧相仿，而肺如同风箱，心脏则好比一只泵。19世纪初，人们又发现眼睛很象望远镜。但毋庸讳言，当时工程技术在医学上的应用极为有限。

综观历史，工程技术对医学领域的影响大致分为三个阶段：第一阶段——萌芽；第二阶段——渗入；第三阶段——冲击。

上面所述17世纪至19世纪这一段时间可归之于第一阶段。在这段时间内，中医靠的是望闻问切的行医经验；西医用的是听诊器加体温表、血压表等初级仪器。对人体机能的了解，着重在定性描述而乏定量研究。这些都应归因于检测手段的匮乏以及有关理论研究的脱节。

第二阶段，大致可认为从19世纪末开始，以1895年伦琴发现X射线为标志。X射线发现后三天，伦琴夫人偶然看到了手的X-线造影，从而开创了对人体内部脏器进行影像诊断的新纪元。20世纪初，电技术的发展，促进了心电图、脑电图的研究。1903年Einthoven用弦线电流计记录了心电图；1925年Прабдицешинский用电子放大技术描记了心电图。这些成就都可以说是工程技术向医学研究领域的又一次迈进。第二次世界大战期间，为战争需要而发展起来的超声波定位潜艇技术启发了Dassik等人于1947年发明了脑的A-型超声显示；接着，1950年Ballantine等在MIT的声学实验室进一步完成了颅内病变的超声检测；1953年，Holmes和Howry等研制成了二维超声实时成像仪。差不多也在这个时候，Holter利用磁记录技术研制成了非卧床病人佩带的Holter系统。于是，工程技术多方位地向医学领域渗入。但总的说来，在20世纪50年代以前，工程对医学并未产生全面而强烈的影响。

第三阶段。进入20世纪60年代，微电子技术、计算机技术飞速发展，计算机功能极大增强，体积成倍地减小，而成本却成十倍、成百倍地降低、加上物理学的其它进展（如激光技术、红外技术等），使工程技术对医学领域形成全面冲击。其结果，促使医院

设备不断更新, 生物医学工程学科也应运而生。

今以心电信息研究中的一个例子来描述这一阶段中工程技术向医学领域步步深入的轨迹。作为ECG技术进展的一个方面, 1961年Holter公布了利用磁记录技术制成的为非卧床病人作心电图长期(10~24小时)记录的Holter系统。该系统把病人在院外活动期间的心电信号一刻不漏地记录下来, 然后回放, 借此可以检测用传统手段难以捕捉的瞬时心律不齐, 特别是检测室性期前收缩(PVC), 从而有效地预防冠心病人的猝死。这一系统还可研究各类身体活动对心脏的可能影响, 研究药物对抑制心律失常的效果等。起初, 对这类长期记录磁带的分析由模拟系统实现。操作人员以60~120倍于实时记录的速度回放磁带, 并在示波器上作扫描显示。一旦发现心律不齐(用叠加法*或视听重叠显示)即停止回放, 并在心电图机上按实际记录速度打印出这一部分心电图, 以便仔细检查异常的性质。然后重新启动快速回放装置, 继续进行扫描观察。这样, 如频频遇到心律不齐的记录, 要屡停屡放, 颇费时间, 增加分析费用。如只遇少量心律不齐, 则几乎常放不停, 动作单调, 操作员易致疲劳, 从而可能漏检某些异常节律。一般, 其检查准确率在66%左右。进入70年代, 计算机成本大幅度降低, 如此单调的重复检查理所当然地为计算机自动识别系统所代替(常用小型机, 如PDP11系列)。分析表明, 在一定的计算机上, 检查的准确率与回放速度有关, 回放速度愈高, 准确率愈低。80年代, 微型计算机功能增强, 有可能使Holter系统的记录装置本身随附微机处理系统。这样, 可先对ECG信号的R-R间期进行测量, 对QRS复合波进行识别**, 并对不正常的QRS复合波进行计数、分类, 最后才予存储。这种Holter系统能摒弃无关紧要的数据, 选择性地记录异常节律的各种类型和被检对象的正常ECG波形。换句话说, 磁带记录的已是经过预处理的波形。预处理(识别)是在实时情况下完成而不是在高速回放时进行的, 故检测异常节律的准确率可达97.5%。与此同时, 磁带耗费及回放的工作量也大幅度地削减, 连续监护可达72小时以上。目前磁带记录已被大容量RAM所替代, 体积大大缩减、性能更有提高。这些效果均受益于微电子技术和计算技术的进展。

计算技术对医学领域冲击的最有力的标志要数计算机断层成像术及成像装置(CT)的推出。CT的理论研究, 远的有奥地利数学家Radon, 近的有美国物理学家A.M.Cormack。但CT装置的付诸实现却由英国EMI公司工程师Hounsfield完成, 并于1971年9月正式安装在英国Atkinson Morley医院。这一成果在放射学界引起了轰动, 被誉为继伦琴发现X射线后工程技术对放射学诊断的又一划时代的贡献, 是计算机用于医学的典范。1979年的诺贝尔生理与医学奖破例地授予两位没有专门医学经历的科学家与工程师: A.M.Cormack和G.N.Hounsfield。从此计算机大踏步地跨入放射学领域。各种

* 使每一QRS波重复叠加在前一个QRS波上, 当出现异常波形时, 叠加所得的波形也马上呈现异常, 很易辨别。

** 识别过程如下: 对每一病人先建立一相应的正常形态模板及R-R平均间期。模板与平均间期是将前16个正常节律平均后得到的。然后把后续的ECG波形与最近的R-R平均间期及模板比较, 如相同, 认为是正常ECG, 并以此来更新正常形态模板。类似地, 以该正常的R-R间期去更新R-R平均间期。这样, 每一新的ECG总是与最新的16个正常复合波比较以鉴别心律与形态的变化。

型式的CT纷纷推出。单光子发射CT；正电子发射CT；核磁共振CT等相继问世。在医学研究的其它领域这种冲击也方兴未艾。大致反映在两大方面：一是医疗仪器方面，二是管理方面。

1.1.1 计算机对拓广医疗仪器性能的贡献

由于微电子技术的发展，8位微机在医疗仪器方面的应用已十分普及；16位微机已涌入医疗仪器行业。带32位微机的医疗仪器产品也已问世。HP公司总裁曾在1980年预言：“今后设计的仪器几乎没有一种仪器不是采用微处理器的”。现在，脑电、心电、肌电图仪，多道生理记录仪，监护仪(包括分娩监护，新生儿监护，手术监护和遥测监护)等装置几乎都带微机。

引入微机以后，从深度与广度上扩展了医疗仪器的功能，概括于后：

一、赋予医疗仪器以信号处理的功能

由于微机功能的增强，一些信号处理方法均可应用于仪器之中，如叠加平均、数字滤波、自适应滤波、相关计算等。图像处理中的勾边处理、灰度校正、直方图均衡等也已应用于医疗仪器。B-型超声实时扫描成像仪中就已采用了某些图像处理技术。由于在肌电、脑电图仪中应用了相干平均技术，使噪声与伪差得到了有效的抑制。并使在体表心电信号中检测His 索信号成为可能。在胎儿监护仪中利用自相关和自适应原理，把胎儿心电同母体的心电以及因母体子宫的其它活动产生的杂波分开。在上述Holter系统及实时监护仪中，借助于模板匹配技术可将异常的QRS波识别出来。采用数字滤波的优点是可以减少基线漂移，克服模拟滤波器的缺点，提高稳定性。总之，信号处理技术的引入，使医疗仪器的性能全面改善，功能大大加强。

二、赋予医疗仪器以计算功能

“计算”是计算机的“本能”，这一功能在生化测试仪器中可说有了较大的发挥。如自动血气分析仪仅用微量试样即可读出 PH 、 PO_2 、 PCO_2 的数值，并藉预编的程序推算出其它数据。在B-型超声实时成像仪中，内藏微机能自动计算心输出量，能测量出图像上任两点间的距离，如胎儿的身长或某一区域的面积，这种测量功能称为“电子尺”。如此，操作者的计算工作量被减至零，同时大大提高了计算精度和速度。

三、增强了医疗仪器的显示功能与输出功能

医疗仪器中引入微机以后，其显示功能大大扩充。在监护仪中除能显示病人号码、日期、房号和瞬时心率、体温、血压等数据外，还能显示不同时间间隔(例如24小时)内这些测量参数的趋势图。而某些中心监护站采用彩色显示屏能用不同颜色表示不同的病情程度，直观醒目。不少医疗仪器配以微机后提高了自动化输出能力，能自动打印、描记及作图。CT装置中借助于窗口显示，提高了密度分辨力。可选一段动态范围例如 $20\text{H} \sim 40\text{H}$ (H为CT数，其大小与组织的密度有关)，令这一范围的CT数对应于CRT上

的全部灰度,就可把20H~40H间的密度细节显示得详尽无遗。这是CT优于常规胶片摄影的一个重要之点。

四、使医疗仪器中人机对话做到光笔化、无旋钮化、键盘化

引入微机以后,仪器可革除旋钮,利用键盘、光笔、声控等手段输入命令。既增加了可靠性,也扩展了用户对象,使盲人等残疾人也可使用。在专为残疾人设计的声控轮椅中,用声音控制轮椅的运动方向。这些功能只有在引入微机后才成为事实。

五、促进了医疗仪器的小型化、模块化与系统化

微电子技术的发展使原来采用小型机的系统可用微型机代替,例如长期心电图分析系统80年代初还用小型机实现,现在则被微型机代替了。CT装置中的计算机原来也都用小型机加阵列机,现在已可简化为只用一台微型机实现,这种趋势正在迅速蔓延。有些原来要求小体积的埋藏式医疗装置,采用新的微电子技术后,体积更小、功耗更低、功能更强。例如埋藏式心脏起搏器已可用大规模集成电路组成专用微机,重量仅52克,100%起搏寿命达11年,功能增强,并能检测、处理、记忆心脏活动的电信号。对起搏的类型与参数不但可以实现体外非损伤控制,还可以根据预定的程序视心脏的活动情况自动跟踪,也可自动检测心动过速,发出猝发脉冲,进行超速抑制。

医疗仪器发展的另一方向是“模块化”与“系统化”。也就是把一些基本模块或基本仪器利用接口技术,将它们联成一个系统,增加了灵活性。如IMC公司的Holter系统就是由“磁带回放”模块、“三道心电图”模块、“快速扫描”模块(控制产生ECG报告)拼成。如需进行运动试验,另加一“踏板控制”模块。借助于接口技术,人们将ICU病房的一些生理参数测量仪器同静脉输液泵等给药装置联成一闭环系统,对药物剂量作精确控制。例如,在计算机控制下,对血压进行连续采样,并对血压波进行分析,然后算出药物剂量,控制给药装置准确给药。

随着大规模集成电路的发展,小型化、模块化、系统化的医疗装置必将成为医疗仪器的主流产品。

六、计算机的应用,实现了人体结构的三维形态显示

二维成像技术如B-型超声实时成像、CT等虽可无创地揭示体内病灶之有无,也可在平面上显示其位置,但对第三维位置的确定尚不直接。医生必须根据多片断层图像进行构想。这要求医生经过大量实践获得丰富的经验才行。随着计算技术与计算机图形学的发展,完全可以根据二维断层重建三维实体,并在CRT屏幕上显示出直观的三维形态,直接指示各部分在三维空间中的相对位置,有助于制订放射治疗计划和手术计划。起初,三维形态的显示与断层摄影是分离的。近来,已在CT装置中直接附加显示三维形态的软件包,两者融为一体。美国Mayo Clinic的动态空间图像重建装置DSR则更先进,它能在一次心跳期间获得舒张期内心脏的三维图像,也就是能对运动着的心脏进行三维重建。三维形态显示结合计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)可用于

整形外科,使残损关节或骨骼的修补自动化。这是计算机应用于医学领域的另一杰出成果。

七、促进了供残疾人用医疗装置的开发

现代微电子技术与计算技术的发展,有可能使盲人“看”见,聋子“听”见、跛子可以“走”路;或使人体各部分功能相互替代。例如具有严重行动障碍的残疾人常利用控制呼吸、视觉的肌肉来操纵轮椅的电子电路,操纵电话和家电用品(例如音像设备等)。借助于微型控制器的游戏杆,手脚不便的残疾人能安全地驾驶汽车,“走”遍天下!

利用计算机,盲人可在一手持式布莱叶盲文键盘上“写字”,并可在一个电子触觉显示器上阅读布莱叶字,也可把所“写”文字信息通过盒式磁带机记录下来。

总之,计算机的推广使用,对残疾人造福不浅,他们的受损功能直接、间接地得到了前所未有的补偿。

1.1.2 计算机在生物医学管理领域中的作用

这里所说的管理,泛指医学数据的管理、医疗经验的管理以及医院内病人的管理,包括预约、出入院登记、病历、处方、医嘱、费用等管理。

一、医学数据的存档、通信系统及PACS

随着医院内现代化医疗仪器与装置的增加,医学数据量激增,医学数据的存档与建库已日显重要。其重要性还出于如下三方面考虑:

(1) 对于某些慢性病的机理的研究,对所取治疗方案的评估,常需经历几年乃至更长时间。为此,必须保存一些原始数据,以供日后研究之需。

(2) 某些研究项目常有必要扩大到全国范围进行临床试验,有必要记录所有的试验数据以供分析。

(3) 选择性地对某些医学信息存档建库作为标准数据供对比之用。

在医学数据的存档方面,最先实现的还是心电图的数据。例如,MIPI 心肌梗塞病人信息系统存放病人在CCU期间的有关临床数据,出院后的活动ECG数据,诊断 ECG数据,以及在发生心肌梗塞后的随访数据,然后定期地将数据传送至另一系统进行统计分析。

作为信息标准的数据库有AHA(美国心脏研究协会)评估心律失常检测仪的数据库。它是作为评估室性心律失常(VAD)检测仪的标准。建库时,先由各心电图研究中心提供数据,再由心电图专家组逐拍检查每一QRS复合波,并确定其是否属于室性。大部分数据选自室性心律失常,并将它分成八大类。每类由20盘磁带组成。每盘磁带包含室性心律失常的一种型式,并用它来作为标准。

医学数据通信是由于下面所述情况的需要而引入的。

为了节省费用,各医院的心电图常经过电话网传送至商业性的心电图服务中心。该中心配有计算机分析系统,对传送来的心电图进行分析,作出诊断。为了提高传送质量

需进行数字化, 为了提高传输速率还要进行数据压缩。有关这些细节将在后续各章讨论。这就是最简单的一维医学数据通信。

在放射成像领域, 由于成像设备的发展, 放射科的检查项目日益增加, 包括X-CT检查, 伽马照相, B-型超声扫描, 数字减影, 核磁共振成像, 单光子发射CT检查, 甚至正电子发射CT检查、数字放射摄影等。其中50%以上的检查数据是以数字形式记录的。一个中等规模的医院, 一年中要产生几百万幅图像。如何保存、检索并共享这些图像, 从而更有效地利用它们已不容忽视。往日模拟胶片的存档系统显然已经过时。一类新的系统——数字图像存档及通信系统(PACS)已经诞生, 并以极快的速度发展着。系统的主要组成如图1.1所示。

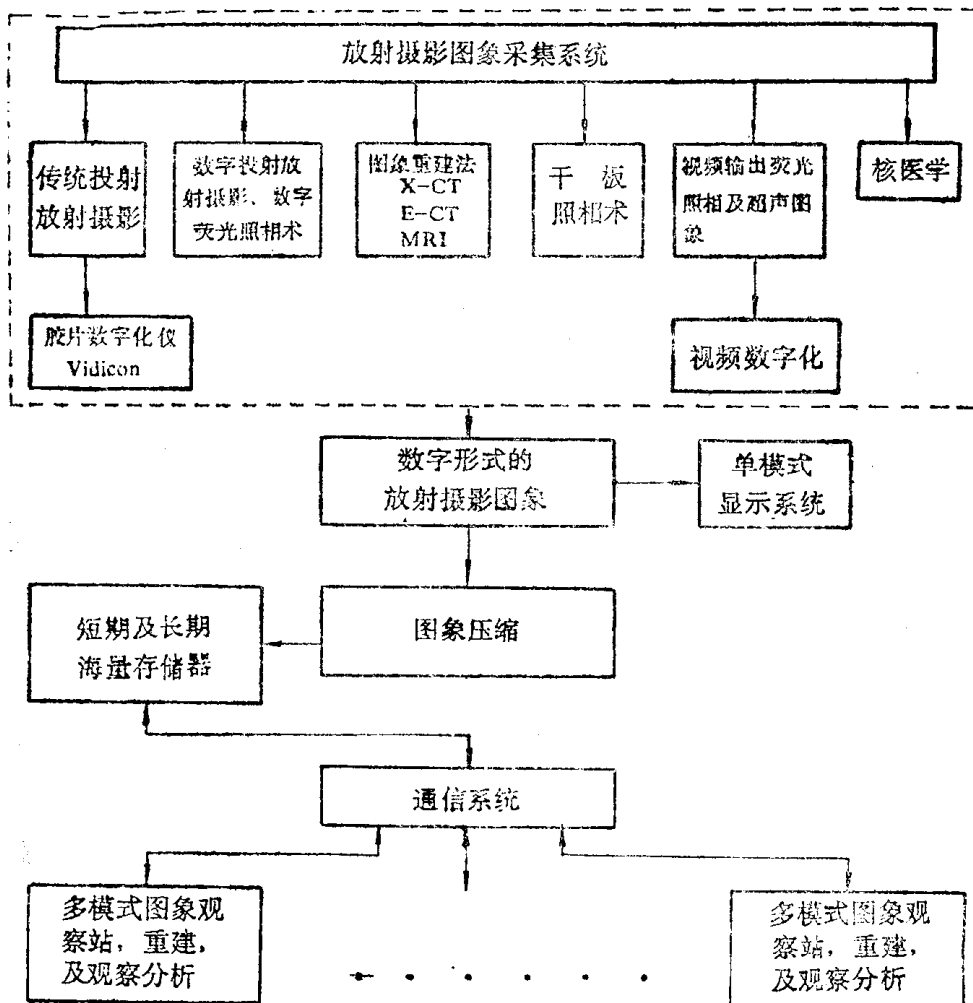


图 1.1 PACS系统构成框图

各类成像装置产生的图像转换成数字图像(如果原先是模拟图像的话)后, 经过数据压缩送至中央存储单元; 再通过各式处理, 经由通信系统传输至分散在各处的监视器上显示。存储分短期和长期存储两种。短期存储适用于短期检索。一般在图像生成二周之内医生检索最为频繁, 以后检索频度减少, 通常再保存 2 个月才转为长期存储。长期存储允许存放 7 年或更长时间。在此期间检索频度明显降低, 此时的检索称为长期检索。

PACS的优点为

1. 使病人图像的丢失率和投档错误率大大降低;
2. 使医生可在任一终端上于极短时间内检出来自不同成像装置的结果,以便交叉对比,相互补充,作出准确诊断;
3. 允许调用诊断前后的图像与报告,作纵向对比。第2、3两项均使同一图像的诊断价值提高,从而提高了诊断准确率。

PACS既有如许优点为什么到今天才开始发展呢?这是因为PACS的实现主要靠海量存储器,特别是光盘的发展(光盘每面容量达1000兆字节以上)和计算机局域网技术的进步。目前这些技术都已成熟。预料PACS将成为今后医院中计算机应用的重要方面。

二、专家系统(ES)

若说PACS是将成像装置的图像数据存档、传输,供医生快速检索,那末,专家系统是将医学专家的经验存档,以便推广、继承。

专家系统,也称基于智能知识的系统,是运用知识和推理方法求解问题的一种智能计算机程序。它能对那些需要权威专家知识才能解决的应用难题,提供权威专家水平的解答。这里的专家知识,一般指专家解决问题所使用的经验性判断性知识(或称启发性知识)。

专家系统区别于一般计算机程序之处在于解决具体问题时,不仅借助于一般问题的求解方法,而且还需要某领域中的专门知识。

医学领域中成功的专家系统有:1975年由卡内奇-梅隆大学研制的CADUCES(或称INTERNIST-Ⅰ)系统,用作内科医生咨询;1976年由斯坦福大学E.Shortliffe等人开发的MYCIN系统,为医生提供关于细菌感染病治疗方案的建议;以及用于肺功能诊断的PUFF系统和诊疗青光眼的CASNET系统等。

我国传统医学丰富多彩,名医高招层出不穷,但都建立在个人经验基础之上。如能充分利用现代人工智能方面的成就,将名家的行医经验发展为专家系统,使具有一般临床经验的医师能借助专家系统发挥名医专家的水平。这无疑是医学现代化的方向之一。

§ 1.2 生物医学信号的分类与特点

按产生信号的源的类型分,生物医学信号可分为直接信号与间接信号。直接信号又称主动信号,它的源由生命体自身产生,如ECG是心脏活动过程中,心脏的肌肉和神经电活动的总合;EEG则是来自大脑神经细胞的电活动。间接信号又称被动信号,信号源不是生命体本身的活动产生而是外加的,如在各类超声诊断医疗仪器中为了检查心脏的活动而发射的超声脉冲;在核医学仪器中,为了检查机体的功能而在生命体中所施放射性核素等等。

1.2.1 直接信号及其特点

如上所述直接信号的源深埋于生命体的内部,要研究这类信号的特点,必然要涉及整个生命体系统。

生命体系统是一个极端复杂的有源系统,它的行为受生物化学、物理等规律控制,其中许多机理都还在研究之中。

生命体系统的复杂性常常导致测量和处理方法上的许多困难,它不能象某些物理系统那样可对其子系统予以独立考虑。由于各子系统间的复杂的分层链接,且有许多尚未弄清楚的反饋路径,在观察和研究生命体系统时,应让系统处在自然状态之下。这样,系统内某一源产生的信号,将受周围子系统的活动的影响,信号也被邻近系统的噪声所污染。例如在测量脑电信号时会受到肌电信号的影响。

显然,测量信号的地点离开信号源愈远,测得的信号中混杂其它子系统的有害信号(干扰)就愈多。而直接信号的信号源,很象天文学中研究的天体对象,是不可触及的。如产生心电的源在心脏,然而我们很少将电极置于心脏附近来采集心电信号,以便提高信噪比。再如,为了测量胎儿心电,我们更不会穿过母腹、深入胎儿心脏以采集胎儿的ECG,而只能在母体腹部放置电极进行测量。这种检测信号的方式称为**无创检测**。无创检测一方面可减少病人疼痛,另一方面也是为了不破坏系统状态从而忠实地采集原信号的需要。但带来信号污染。

生物医学工程工作者的任务就是以无创检测的方法采集这类信号并加以处理,由此推演出所需的信息,供医生准确地诊断疾病。由于生命体系统的复杂性、信号源的不可触及性以及信号检测的无创性的要求,给信号的处理带来了许多挑战性的问题。这些问题的满意解决很大程度上均仰赖于计算机的应用与计算技术的发展。

由于生命体自身的机理以及信号源的不可触及性,生命体系统产生的信号,具有如下许多特点:

一、信号的变异性

生物过程是非平稳过程。生命现象随时都处于微小的变动之中,而不是固定不变的。即使是从群体中同一对象取得的信号,在不同时刻也是不同的。

变异性的产生是由于生物过程有一种藉内在的调节机制以适应环境变化的能力。这种机制目前还不清楚。例如,心电节律随运动而变,甚至随影响某种疾病如糖尿病等的因素而变;脑电信号的节律随精神状态而变;但其机理人们知之甚少。又如对调节胎儿心率及母体子宫内压的机理也几乎一无所知。

生物信号的变异性,使得人们难以从观察结果中总结信号的特征和规律。但事物总是一分为二,在某些情况下,有意义的信息恰恰蕴含在变异性之中。例如糖尿病的信息蕴含在ECG的变异性之中。

生物医学信号的变异性迫使人们依赖于统计方法来处理信号,且常常依赖于自适应滤波技术。后者的特点是在具有很少甚至没有信号统计知识的情况下,通过对输入观察

值的递归处理,逐步逼近最优滤波结果。这样,既有利于实时处理又有利于适应信号的非平稳性。自适应处理必须借助于计算机。

二、信号弱、干扰强、频率低

由于直接信号的信号源不可触及,必须在体表测量,一般说来,信号幅度均很小。例如自发脑电信号为2~100微伏;脑干诱发电位则只有0.5微伏,心电信号幅度为几百微伏至几毫伏;肌电信号为100微伏至几毫伏。如所周知,非研究对象的信号均属噪声或干扰,因此在研究脑电节律信号EEG时,伴随的肌电“信号”就是干扰。干扰还来自电极运动、电源干扰以及其它大功率收音机、电视机或雷达设备产生的电磁干扰等,其幅度常大于研究对象的信号幅度。又如在研究胎儿的心电时,母体的心电及肌电就是干扰,后者明显地大于胎儿的心电信号(约10~50微伏,仅及母体R波幅值的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$)。

直接信号的频率均较低。例如脑电信号的频带在0.5Hz至100Hz范围;心电信号的频带在0.05Hz至100Hz之间(能量集中在0.05~44Hz);肌电信号的频带为10Hz~2000Hz。

如信号 $s(t)$ 与噪声 $n(t)$ 是加性结合,即 $x(t) = s(t) + n(t)$,又若两者的频带不相交迭,则可用频域滤波提取信号。但由以上列举的生物电信号的频带可见,至少50Hz的工频干扰均在信号频带之内。这种信号与噪声频带相交情况就需采用匹配滤波和自适应滤波等特殊方法。进而若信号 $s(t)$ 与噪声 $n(t)$ 是乘性结合,即 $x(t) = s(t) \cdot n(t)$,则须用同态滤波。这种方法的应用,已非常规的模拟技术所能应付,必须借助于计算技术。

1.2.2 间接信号及其特点

直接信号中蕴含着大量的生理信息,但由于上面所述的一些特点,在应用上有许多局限性。工程技术的发展,使人们有可能对生命体系统施加特定的输入,再接收(测量)其输出信号,从而计算出系统的静态或动态参数。这些参数或反映生命体内部的形态,或反映系统的功能。间接信号的设计和利用,是生物医学与工程技术相结合的一个重要方面。按信号的施加方式,间接信号又分遥测型与遥感型两种。

一、遥测型

其特点是发射源在体外。典型例子为:A-型超声及B-型超声成像装置,X射线摄影装置,X-CT成像装置等。它们都在生命体系统外部对系统施加信号,并在外部接收信号。对反射式超声成像仪如A-型、B-型超声成像,发射与接收合用一个传感器。对于X射线成像及X-CT情况,发射源与检测器是分开的。信号幅度与信号频率依生物体特性与工程要求决定,如B-型超声发射频率高达3.5~10MHz。

二、遥感型

其特点是发射源引入体内。如单光子发射CT,将 ^{99m}Tc , ^{125}I , ^{131}I 等放射性同位素引入,从而发射单一伽马射线。正电子发射CT则引入 ^{11}C 等入体内,发射两个相反方向的