

高等学校试用教材

医学图象处理

吕建雪 编



7500
1300
高等学校试用教材

医学图象处理

吕维雪 编



高等教育出版社

B 111.11.11.11

内 容 提 要

本书是以“数字图象处理”为基础,主要介绍数字图象处理方法在各种医学图象中的应用。

全书分两大部分。第一部分对于数字图象处理的一些常用方法给出结论性的介绍,并做一定的补充。第二部分介绍图象处理方法在X线医学、显微医学、核医学、超声医学图象处理以及医学断层图象中的应用。本书汇集了丰富的材料,内容翔实。

经国家教育委员会生物医学工程与仪器专业教材委员会召开审稿会审定,并委托蔡元龙教授复审,同意作为本专业本科生试用教材出版,也可供研究生选作教材或供有关工程技术人员、医学研究人员参考。

责任编辑:姚玉洁

高等学校试用教材

医学图象处理

吕维雪 编

·

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

印 刷 新 华 印 刷 厂 印 装

·

开本 850×1168 1/32 印张 12.875 插页 2 字数 308,000

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数0,001—1,190

ISBN 7-04-002263-X/TN·119

定价 4.30 元

序 言

医学图象处理是图象处理技术在医学领域中的应用。一本完整的医学图象处理教科书也许是应该以数字图象处理作为它的基础理论部分,把医学各领域中的图象处理作为它的应用部分。但是当今的医学图象处理所涉及的专业基础理论已经远远超出了传统的数字图象处理的范围了。例如,有关计算机图形学、模式识别、图象重构、计算机视觉等都在医学图象的处理中得到应用。此外,医学图象的成象技术(与图象的处理方法有密切关系)亦涉及到愈来愈多的学科原理。所以要写一本包罗万象的医学图象处理的教科书是不现实的。

根据国家教育委员会生物医学工程与仪器专业教材委员会讨论的意见,这本教材是在学生学过“数字图象处理”课程的基础上,以数字图象处理方法在各种医学图象中的应用为主来编写的。所以本书分成两部分,第一部分属于图象处理的一般方法,第二部分是图象处理方法在各医学专业领域中的应用。由于数字图象处理作为一门课程,其内容亦是在不断发展的,所以为了避免不必要的重复,同时又能补充一些在“数字图象处理”课程中不讲或少讲的内容,本书的第一部分将“数字图象处理”范围内的视觉特性、图象编码、图象描述等部分基本略去,对一些常用的方法,特别是在本书第二部分用得较多的一些方法,如平滑、增强、跟踪、分割等采取给出结果,不做理论推导,以供引用时参考;对于一般“数字图象处理”课程中不讲或少讲的、而在医学图象处理中又常用的,如形状分析、识别等也做一定的补充。

关于医学成象技术的内容,根据教材委员会的意见将作为另一本教材来编写。此外,三维图形显示也是目前在医学图象信息

处理中得到愈来愈广泛应用的一个领域,这部分内容涉及计算机图形学。该课程本身有很丰富和广泛的内容,是不可能在本书中做全面的介绍的。对这部分内容的处理,本书介绍其在有关领域中的具体应用及其方法。

在本书的使用上对不同的要求可以有不同的做法。对于开设“数字图象处理”和“医学图象处理”两门课的学校,本书可以作为“医学图象处理”课的教科书用;对于只开设“数字图象处理”一门课程的生物医学工程与仪器专业,可以采用本书的第二部分与“数字图象处理”的教科书并用,或作为应用举例的主要参考书。本书也可以作为研究生和从事医学图象处理工作的研究人员的参考书。

由于医学图象处理技术目前正处在迅速发展的阶段,新的技术和理论在不断出现,编者在汇集各方面的材料时难免有遗漏和疏忽之处,欢迎广大读者提出批评指正意见。

编者

1988年9月

目 录

第一部分 图象处理技术及方法

第一章 图象的基本概念	1
一、前言	1
1. 医学图象	1
2. 医学图象处理	3
二、图象形成与图象表示方法	6
三、图象传输	8
1. 图象传输的基本问题	8
2. 数字传输与模拟传输	9
3. 灰度	10
4. 位置信息	10
5. 色彩的传输	11
6. 图象的压缩传输	11
四、图象数据库	12
1. 图象数据库管理系统	12
2. 图象数据的保存	17
第二章 医学图象处理系统的硬件设备	19
一、图象输入设备	19
1. 显微光密度计	19
2. 飞点扫描器	20
3. 电视图象数字化仪	21
4. 固体阵列式摄像机	24
二、输入设备与计算机的接口	28
三、图象处理专用计算机	29
四、图象输出设备	30
第三章 图象处理方法	33

一、图象的变换	33
1. 几何学的变换	33
2. 灰度变换	36
3. 空间变换	42
二、图象的复原	43
1. 问题的提出	43
2. 直接图象复原技术	45
3. 图象复原的间接技术	54
4. 点扩散函数的确定	56
5. 对各种技术的评价	57
三、图象的平滑	57
1. 局部平均	57
2. 频域滤波	58
3. 空间滤波	59
4. 灰度阈值法	60
5. 多幅图象叠加法	60
6. 中值平滑法	61
7. 自适应平滑法	61
8. 其它非线性滤波	62
四、图象的增强	64
1. 并行处理	64
2. 顺序处理	77
3. 迭代处理	85
五、图象的形状分析	89
1. 几何学的概念	89
2. 加区域标号	92
3. 区域的表示	97
六、图象的识别	109
1. 特征的抽取	109
2. 模板匹配	115
3. 最小距离识别	118

4. 统计识别法	120
----------------	-----

第二部分 图象处理在医学中的应用

第四章 X线图象处理	125
一、医学X线成像技术	125
1. X线摄影的基础	126
2. X线成像系统	128
二、数字减影技术	140
1. 减影技术的分类	141
2. 数字减影系统的构成及原理	141
3. 时间减影技术	144
4. 能量减影技术	162
5. 混合减影技术	169
6. 改善减影象质量的其它措施	171
三、心室X线图象处理	173
1. X线左心室造影图象处理	173
2. 局部心壁厚度的动态分析	181
四、胃X线图象处理	187
1. 立位正面充满象的图象处理	188
2. 立位正面充满象的计算机诊断	194
五、胸、肺X线图象处理	197
1. 图象数字化及压缩(子系统 0)	200
2. 肺区的边缘识别(子系统 I)	201
3. 识别背部肋骨的方法(子系统 II)	202
4. 肺中异常阴影的检测(子系统 III)	205
5. 实验结果	209
6. 胸部X线图象中圆斑区的自动检出	211
六、其它X线图象处理	218
1. 先天性髋脱臼的自动诊断	218
2. 血管象的识别	226
第五章 显微医学图象处理	237

一、显微医学图象处理系统	238
1. 对硬件系统的要求	238
2. 硬件系统的实例	242
二、血球自动分类处理	248
1. 分割	249
2. 特征抽取	253
3. 分类	255
三、癌细胞识别	257
1. 癌细胞识别的要求	258
2. 癌细胞识别系统	258
3. 癌细胞识别方法	260
四、染色体核型分类	265
1. 染色体分析的要求	265
2. 染色体核型分类	266
五、微循环图象处理	270
1. 微血管管径测量	271
2. 微血管血流速度测量	274
3. 眼底微血管形态检测	282
第六章 核医学图象处理	290
一、核医学图象概述	290
1. 检测系统	291
2. 数据采集	291
3. 图象显示	293
二、核医学图象的处理	296
1. 心室 RI 图象的处理	296
2. 心肌闪烁图的处理	302
3. 肾 RI 图象的处理	305
第七章 体表医学图象处理	310
一、体表电位图象处理	310
1. 等电位值的选择	313
2. 二维插值及其算法	314

二、体形图象处理	319
1. 莫尔条纹图象原理简述	319
2. 莫尔条纹图象的处理	323
第八章 超声医学图象处理	328
一、超声医学应用概述	328
二、超声医学图象的数字处理	330
1. 超声图象处理硬件	331
2. M型超声心动图的轮廓检出	333
3. 扇扫超声图象的处理	337
4. 三维图象显示	340
5. 纹理识别	343
6. 图象质量优化控制	346
7. 多普勒超声图象	347
第九章 医学断层图象	349
一、图象的投影重建	349
二、X线 CT	365
1. X线 CT 的图象	365
2. X线扫描系统的高速化	369
3. CT 图象显示用的应用软件	375
三、放射性核素 CT	376
1. 放射性核素及其测定法	377
2. 吸收衰减及其校正	379
四、超声 CT	380
1. 利用超声波的 CT	380
2. 超声波的性质与投影数据的测定	382
3. 超声 CT 中波动性的影响	383
五、核磁共振 CT	384
1. 核磁共振的原理与方法	385
2. 核磁共振 CT	388
3. 其它核磁共振图象法	390
附录	392

A. 递归滤波时的输出方差	392
B. 差分图象线性组合中的方差	393
C. 匹配滤波中的信噪比	393
D. 桥式滤波器的计算机算法	394
E. 胸部肋骨的识别	395
F. 信息含量的算法	395
参考文献	398

第一部分

图象处理技术及方法

第一章 图象的基本概念

一、前言

1. 医学图象

医生在对病人进行诊断和治疗的过程中,第一步要做的是取得足够的有关病人状态的信息。测量体温、血压、脉搏、心率、心电图,验血,验尿等都是从病人身上取得信息的手段。从信息量的角度来看,图象所包含的信息要比几个数据或几条曲线含有的信息多得多。以一张人像照片为例,对于熟识的人只要一看就知道是谁,但如果试图用文字来描述的话,即使篇幅很多,也难以使熟识的人知道所描述的是谁(除非被描述的人有很明显的特征)。俗话说:“千言不如一画”,正是反映了图象所含有的信息往往要比文字描述丰富得多这样的事实。

在医学上自古以来医生就用观察病人外部所表现的形态、颜色等来获得有关病人机体的信息,如中医的舌象等,但是由于技术以及人眼生理功能的限制,以往医学图象在医生的诊断过程中只有有限的应用。

显微镜的发明对医学的发展是一次重大的推动,因为它使人们以图象的形式观察到了以前肉眼所不能看到的微观世界。1858年 Virchow 发表的《细胞病理学》把病因与组织及细胞的病变联系起来,使医学图象在医生的诊断中开始占有重要地位。

1895年伦琴发现X线,促使医学图象第二次得到重大发展。X线在医学上的应用使得人们能观察到人体内部的结构,为医生确诊疾病的病因提供了重要的信息。

由于医学图象能提供大量用其它方法所不能提供的信息,所以医学成像技术的发展非常迅速,各种新技术几乎无一不在医学成像技术中得到应用。

目前的医学成像技术已经应用了计算机、红外、超声、同位素、光纤、电视、电子显微镜、核磁共振、激光等许多新技术。医学图象不再限于用肉眼观察,而是可以进行照相、拍摄电影或电视录象等,可以对动态过程进行记录和研究。建立医学图像库的问题亦已提到日程上来了。

在显微图象方面由于发展了显微分光测定技术,波长范围也扩大了,使得有可能定量地观察细胞各部分的DNA和RNA的分布。

关于X线图象,一方面从发展影象增强管、减少X线的剂量,降低了X线对病人和医生的有害影响;另一方面,为了克服一般X线透射摄影中器官组织重叠的影响,发展了断层摄影法,即将若干幅X线透射象叠加。由于只有所需断层是处在焦面上的,从而得到断层面清晰、断层面以外模糊的断层图象。1972年又进一步研究出了计算机断层成像技术,使断层图象的清晰度和分辨率有了很大的提高。

X线图象不论是透射图象还是计算机断层图象,主要是观察形态学的特征。采用放射性同位素(RI)的 γ 线图象可以用来诊断脏器的机能。结合计算机断层成像技术,已研究出了具有良好的位置标定精度的正电子计算机断层成像(PCT)装置。

X线和放射性同位素都存在射线对人体健康有害的问题。在第二次世界大战时期发展起来的雷达和声纳的基础上,应用超声

波脉冲反射原理发展了各种超声成象技术。以后又发展了超声多普勒成象技术和超声计算机断层成象技术等。

由以上的简要说明可以看到医学图象几乎全部是把肉眼不可见的信息变成可见信息,从而为临床诊断提供十分有价值的依据。

总结医学图象发展的历史,结合医学科学发展的要求,可以预期医学成象技术今后将沿着从可见光的到不可见的发射,从形态的到功能的,从静态的到动态的,从平面的到立体的,从局部的到整体的等几个方向发展。

2. 医学图象处理

医学图象处理是一个很复杂的过程。医学图象作为一种信息源,也和其它有关病人的信息一样,是医生做出判断时的依据。医生在判读医学图象时,要把图象与他的解剖学、生理学和病理学等知识做对照,还要根据他的经验来捕捉图象中的有重要意义的细节和特征,用工程上的语言来说,就是进行模式识别和特征抽取。所以要从一幅或几幅医学图象中判断出是否有异常,或属于什么疾病,并不是一件容易的事,而是一种高级的脑力劳动。任意拿一张有异常的 CT 图象、X 线照片或超声图象来看,如果不是训练有素的医生,是难以发现图片上的异常的。

近十年来利用计算机的医学图象处理技术有了飞速的发展,这是由于社会的需要以及技术上的可能性两方面促成的。

首先,以往都是病人感到不适后再去找医生求诊,医生根据诊断的需要决定对病人是否要做图象的检查,所以图象的数量是不大的,而且大多数的图象呈现有异常的特征,因此医生必须对每一张图象都进行仔细的分析和反复的推敲;但是对许多疾病来说,等到病人感到不适时,病情往往已经发展到了晚期,有些治疗已经过晚,有些虽能治疗,但将给病人在经济上和肉体上都带来巨大的负担和痛苦。因此,现在世界各国都重视发展预防医学,对一些重点

疾病进行普查。开展群众性的普查使需要处理的医学图象大量增加,而且异常图片的数量少于正常图片的数量,在这些异常图片中由于要发现的是初期的病理症状,因此要求鉴别的是更为细微的差异。另一方面,如前所述,判读医学图象要求有较高的专业素养,而这样的专业医务人员或技术人员是不可能在短期内培养出来的。因此,社会迫切要求发展自动化的医学图象处理系统。白血球的自动分类和癌细胞识别就是两个突出的例子。

其次,由于人对图象的认识能力是有限的,对于变化迅速和变化缓慢的图象往往不能反应。同时人的记忆在容量和时间上都有限,而且不尽精确。所以,对于运动的脏器(如心脏)以及机能分析(如代谢过程)的图象处理,都只有在充分运用以计算技术为主要手段的各种现代技术的基础上才有可能。

再次,计算机断层成像技术的出现打开了一个全新的医学图象处理的领域,以往所不能直接观察到的人体内部情况现在通过计算机的处理变成可见了。

最后,现在有许多医学图象把成像和处理技术有机地结合起来了,不再是象光学摄影那样的模拟(并行)成像方式,而往往是以串行输出的方式给出图象信息,如从放射线探头、超声探头等得到的信号,这种信息特别适宜于进行数字处理。

图象处理的方法可以分为模拟的和数字的两大类。光学系统、电视技术等都属于模拟的方法。它们的优点是整幅图象同时处理,处理速度高;但其缺点是精度低、重复性差、处理功能有限、处理灵活性差等。以数字电子计算机为基础的数字式图象处理与模拟处理方法相反,具有精度高、适应性强、重复性好、处理功能强等优点;其缺点主要为数字图象的数据量庞大,因此需要大容量的存储器。存储一幅 512×512 分辨率的图象就需要 256k 字节的存储器,而通常的 8 位微型计算机的可寻址存储器为 64k。此外,数字计

算机的工作是建立在串行运算的基础上的, 因此在进行稍复杂的运算时处理速度就显得不够快。

由于集成电路工艺的迅速发展, 近年来数字存储器及运算器件的成本每 5~6 年就下降到原来的 1/10。各种高速运算器件和装置的不断研制成功, 使处理速度大为加快。例如, 当初 160×160 像素的计算机断层图象的处理需要 4 分钟以上, 现在 512×512 像素的 CT 图象只需要几秒钟就可以完成。因此, 在本书中将只限于讨论更有发展前途和更有普遍意义的数字图象处理技术。

采用计算机来处理的医学图象目前已有下述几种:

(1) 显微图象

- * 白血球及红血球
- * 子宫癌细胞
- * 染色体
- * 网膜血管

(2) X线图象

- * 胸部投影象
- * 胃充盈象
- * 心血管造影象

(3) 放射性同位素(RI)图象

- * 胸 RI 象
- * 肺 RI 象
- * 心 RI 象
- * 肾 RI 象

(4) 超声图象

- * M型象
- * B型象

* 多普勒象

(5) 体表图象

* 体表电位图

* 热象

* 莫尔条纹象

(6) CT 图象

* X线

* 同位素

* 超声

* 核磁共振(NMR)

二、图象形成与图象表示方法

为了能从医学图象得到各种诊断信息,必须对图象的形成过程及背景有清楚的了解,以及对作为对象物的器官和病理状态有充分的知识。

一般地说,医学图象是对象物的信息经过各种光学的、电学的甚至化学的、机械的通道和设备以后形成的图象,可能存在畸变。

令 k 为对象物, f 为通过成象系统获得的图象。成象系统具有点扩散函数 $h_1(x, y)$ 的特性,再考虑到成象过程中引入的噪声 n_1 ,则图象 f 可以表示为

$$f = h_1 * k + n_1 \quad (1.2-1)$$

其中 $h_1 * k$ 为二维卷积。

图象 f 经过图象处理系统后获得输出图象 g 。如图象处理系统具有点扩散函数 $h_2(x, y)$ 的特性,以及处理过程中引入了噪声 n_2 ,则类似地,输出图象 g 可表示为

$$g = h_2 * f + n_2 \quad (1.2-2)$$

表示成象和处理过程的框图如图 1.2-1 所示。

如果不考虑噪声,令 $h_2 = 1/h_1$,则就是复原处理。例如,在成象