

生物医学工程前沿

张作生 主编



中国科学技术大学出版社

内 容 提 要

本书汇集了参加全国第三届青年生物医学工程学术大会代表的论文,比较充分地反映了几年来我国青年生物医学工程工作者的科研成果。同时,本书发表了几名特邀专家的论文,这些论文反映了当代生物医学工程某些前沿领域的最新进展和动态,相信读者一定能从中获得教益。

(皖)新登字 08 号

生物医学工程前沿

张作生 主编

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路 165 号 邮政编码:230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

安徽省新华书店发行

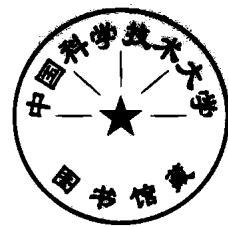
*

开本:787×1092/16 印张:32.5 字数:800千

1993年9月第1版 1993年9月第1次印刷

印数:1—1000册

ISBN 7-312-00562-4/R·20 定价:28.00元



求 实 创 新
后 来 居 上

周光召

九三年八月廿八日

中国科学院院长周光召为本书题词

祝 愿

全国第三届青年生物医学工程学术大会 圆 满 成 功

主办单位

中国科学技术大学
中国生物医学工程学会
中国生物物理学会
中国自动化学会
中国生物医学电子学学会

承办单位

中国科学技术大学研究生院
中国科学技术大学生物医学工程研究所
安徽省生物医学工程学会

赞助单位

国家自然科学基金委员会
中国科学院教育局
中国科学院安科公司
南京新世纪电子电器设备技术公司
顺达高技术医疗设备有限公司
中国科学技术大学生物系视觉研究实验室
中国科学技术大学生物电子工程研究室

前 言

生物医学工程学是综合运用技术学科的理论和方法,深入研究人体的结构和功能,以解决生物医学问题的科学。它的内容非常广泛,几乎涉及了自然科学的各个领域。

大自然赋予人类最宝贵的是生命。为生命之奇妙所吸引,而不愿为生命之复杂、神秘所困惑,这也是大自然赋予我们的试图揭开生命之谜的真诚之心。

生物医学工程是近代崛起的一门综合的新兴的边缘学科。它的基础研究和应用研究正日益受到社会各界的普遍重视,它的发展表征着未来科学的发展趋势和特色,而且它的实际成果正日益造福于人类和社会。

一门新兴科学的发展,需要新的概念,新的思想方法,新的技术手段,更需要一批创新求实、具有新的思维特点的人。

在中国生物医学工程的学术舞台上,年青人已经扮演了主要角色。他们大胆幻想新奇的未来,追求事业璀璨的成功。科学、求实、严谨与探索、开拓、创造交织在一起,他们在胜利和失败中变得成熟、在创造奇迹中茁壮成长。他们敢于标新立异,敢于迎接挑战,勇于在生物医学工程前沿领域探索、创新,为发展我国生物医学工程事业做出了杰出的贡献。

本书汇集了参加全国第三届青年生物医学工程学术大会代表的学术论文,比较充分地反映了几年来我国青年生物医学工程工作者的科研成果。尽管在年轻人的论文中有些还嫌稚嫩,但也不乏其成功之闪光。希望这本书的出版能对我国青年从事生物医学工程的研究起到推波助澜的作用。

本书同时发表了几位特邀专家的论文。这些专家在生物医学工程的一些前沿领域都具有较深的造诣。他们的论文反映了当代生物医学工程某些领域的最新进展和动态,相信读者一定能从中获得教益。

张作生

1993. 9. 10

目 次

特邀专家论文

- 1 医学图像技术的研究前沿
吕维雪 (浙江大学) 1
- 2 信号的时间-频率表示法——Wigner-Ville 分布与小波变换
杨福生 (清华大学) 10
- 3 神经网络模型——神经生理学与神经心理学之间的桥梁
黄秉宪 (中科院自动化研究所) 19
- 4 感觉神经系统中信息的表达
汪云九 (中科院生物物理所) 26
- 5 脑电事件相关电位的研究
张作生 (中国科学技术大学) 34
- 6 神经网络的现实性模型
顾凡及 (复旦大学) 44
- 7 兔嗅觉系统的动力学研究——一种新的模式识别概念
欧阳楦 许翔翔 (首都医学院) 52

青年论文

- 8 双平面投影血管截面重建研究——一种在 IBM-PC 机上实现的血管截面模型
夏顺仁 吕维雪 (浙江大学) 61
- 9 普通微机对医学图象的处理与分析
王 军 徐新智 胡蕴玉 (第四军医大学) 65
- 10 骨科微机图象库的建立与应用
王军 徐新智 胡蕴玉 (第四军医大学) 69
- 11 微机医学 CT 图象三维重建技术
罗斌 汪炳权 胡艳军 (安徽大学) 73
- 12 利用直方图的熵进行图象分割
谷丽萍 庄天戈 王保华(上海交通大学) 77
- 13 一种基于数学形态学的医学图象分割方法
谷丽萍 庄天戈 (上海交通大学) 79
- 14 线性图重建法的实现与评价
陈来高 庄天戈 (上海交通大学) 82
- 15 基于对象内插的形态学描述及实现算法
郭钧峰 蔡元龙 (西安交通大学) 85
- 16 应用于三维医学图象显示的输运理论
谢筱华 罗立民 韦钰 (东南大学) 89

- 17 基于微机的三维医学图象分析与显示系统
 鲍旭东 罗立民 谢筱华 柏毅(东南大学) 94
- 18 基于微机的可扩充医疗图象数据资料库
 田雪芹 鲍旭东 谢筱华 叶晶 罗立民(东南大学) 98
- 19 从边界轮廓线出发的表面重建方法研究
 汪蕙 谢筱华 罗立民 (合肥工业大学、东南大学) 103
- 20 甲状腺微循环图象自适应处理新算法的研究
 郑慧如 刘整 蔡星炳 陈新 (福州大学)..... 107
- 21 分形理论在医学图象边缘增强中的应用 王坚军 庄天戈 (上海交通大学)..... 112
- 22 一种基于 LOG 算子的启发式边沿搜索方法
 龙银香 廖孟扬 陈金峰 (重庆大学)..... 114
- 23 一种基于模糊链接锥的图象分割方法
 龙银香 廖孟扬 彭承琳 (重庆大学)..... 119
- 24 多维信号内插的快速算法
 尧德中 (电子科技大学)..... 122
- 25 基于游程长度的预测编码
 秦铮 戴晚玲 吕玉琦 (东南大学)..... 125
- 26 采用自联想记忆神经网络评定心脏收缩功能
 秦明新 鲍洪涛 (第四军医大学)..... 130
- 27 基于神经网络的直接体积重建方法
 谌斌 庄天戈 (上海交通大学)..... 134
- 28 基于递归神经网络的智能控制系统
 胡维真 (中科院自动化所)..... 137
- 29 利用 Hopfield 人工神经网络进行图象重建
 孙伟 庄天戈 (上海交通大学)..... 144
- 30 利用 Hopfield 网进行最大熵图象重建
 孙伟 庄天戈 (上海交通大学)..... 146
- 31 图形旋转信息加工的神经网络实现
 邹睿 邵颖 欧阳楷 (首都医学院)..... 148
- 32 人工神经网络在心电自动识别中的应用探讨
 刘林 (中科院生物物理所)..... 152
- 33 用于实际工作的神经网络设计方法
 邵颖 刘卫芳 张斌 欧阳楷 (首都医学院)..... 157
- 34 用神经网络对心电图作自动分类的研究
 邱萍 鲁斌 邓小华 欧阳楷 (北京经纬数据设备公司、中国医科院基础所) ... 161
- 35 基于神经网络的气敏阵列传感器信息处理
 王平 陈裕泉 吕维雪 李峻 (浙江大学)..... 165
- 36 B 超斑纹中噪声的一种抑制方法
 陶进绪 周康源 (中国科学技术大学)..... 168
- 37 全数字式连续多普勒血流信号检测方法的研究

	石学工 沈以鸿 高上凯 (清华大学).....	171
38	用稳健的解卷算法提高超声图象分辨率 祁锦毅 高上凯 刘辉 (清华大学).....	176
39	超声多普勒信号的分数维——方法和模拟实验 汪源源 王威琪 (复旦大学).....	181
40	超声多普勒血流声谱参数的计算机自动分析方法 汪源源 吴晓峰 王威琪 (复旦大学).....	185
41	脉冲多普勒系统混迭现象的克服和测速最大值的提高 汪源源 王威琪 (复旦大学).....	188
42	二维异向性心肌兴奋传播仿真 符影杰 (东南大学).....	191
43	用高阶多项式拟合压缩脑电数据 石丽英 王友云(航天医学工程研究所).....	194
44	时变脑诱发电信号的傅里叶变步长自适应处理 苏进 古红 (中国科学技术大学).....	198
45	利用空间分析进行视觉诱发脑电的动态提取 王云华 杨福生 马信山 (清华大学).....	205
46	长期脑电中癫痫波自动检测方法 孟欣 欧阳楷 (首都医学院).....	210
47	40Hz 事件相关电位与认知活动相关性研究 李江明 王利芸 张作生 李江安 (中国科学技术大学).....	214
48	心外膜心电图高频切迹和功率谱的实验性研究 王福文 朱卫平 (山东省医科院基础所、山东师范大学)	222
49	体外反搏过程中中心阻抗血流图的自适应检测 黄智礼 郑振声 (中山医科大学).....	226
50	字符点阵 LED 显示心电波形的方法研究 阎相国 郑崇勋 (西安交通大学).....	231
51	心电的模板匹配折线拟合法及其实时实现 丁哨卫 张作生 (中国科学技术大学).....	234
52	一种基于 8098 单片机的 ECG 实时滤波方法 张永红 林家瑞 (华东理工大学).....	240
53	ECG 数据的自适应模板比较压缩算法 赵勇 吕维雪 (浙江大学).....	242
54	心电信号数字滤波器的设计与实现 罗伶 刘波 (中国科健有限公司).....	247
55	平滑维格纳分布及其在心电信号分析中的应用 孙悦 吕扬生 孙千泉 朱卫平 张云津 宋兴勇(天津大学、山东师范大学) ...	252
56	频率响应屏蔽法在 ECG 信号处理中的应用 梁岩 沈凤麟 (中国科学技术大学).....	254
57	PHCA 过程中犬心电波形的功率谱分析	

	王兴元 王文辉 何乃文 (东北大学、天津大学)	259
58	实验性急性心肌梗塞的体表及心外膜高分辨心电图研究 孙千泉 孙悦 朱卫平 吕扬生 张云津 宋兴勇 (山东师范大学、天津大学)...	264
59	异向性心肌电特性模型 符影杰(东南大学).....	269
60	维持眼内灌注压恒定的一种加压装置及使用该装置获得的研究成果 王伟 任兵 董丰 周逸峰 (中国科学技术大学).....	272
61	微量离子电泳技术的建立及其应用于视觉研究的一些结果 胡兵 李祥瑞 周逸峰 (中国科学技术大学).....	278
62	抗菌素灭菌及二次冷冻对人体肺动脉细胞活性的影响 谢宁 郭建华 郭加强 吴学军 漆志涛 姜蕙(中国医学科学院).....	283
63	血液滞环的本构方程表达及其临床意义 胡冠红 施永德 吴国强 (上海医科大学).....	286
64	滤波器的鲁棒稳定性分析 李小华 徐俊荣 (上海交通大学).....	289
65	金色葡萄球菌青霉素细菌电极的研制 邵方 李怀德 胡承香 李明春 (第三军医大学).....	292
66	生物材料用钛合金等离子体源离子注入表面改性初步研究 黄楠 肖静 陈元儒 薛振南 尚振魁 耿曼 柳襄怀 (西南交通大学、华西医科大学、核工业西南物理研究所、中科院上海冶金研究所)...	294
67	自体静脉移植血管术后壁面剪应力的变化 黄氏 黄耀添 赵黎 匡震邦 韩海潮 李军 (西安交通大学、第四军医大学)...	297
68	极谱式氧电极中阳极工作原理的修正 应立凡 范振英 刘焕来 (中国医学科学院).....	301
69	心室颤前后脑微动脉血管的应力分析 王伯初 新见英丰 吴云鹏 蔡绍哲 杨一平 (重庆大学、日本国立循环器病中心)	303
70	同种主动脉瓣作为人工心瓣脉动流测试标准参比瓣的研究 吴学军 常谦 王继海 郭加强 郭一如 郭建华 朱晓东 (中国医学科学院)	307
71	用 ESCA 分析低温等离子体对胶原材料的改性效果 任磊 张其清 胡建芳 钱露茜 (中国医学科学院、中央民族学院)	310
72	坐姿无约束人体非线性模型时域动响应理论研究 刘新祥 (中国船舶科学研究中心).....	314
73	人体脊柱功能段的动态压缩极限载荷 侍坚 乐秀鸿 王学佑 王来兴 柯文琪 (海军医学研究所).....	321
74	足底压应力分布测试系统的建立	

	刘亚军 王军 黄耀添 褚晓朝 (第四军医大学).....	325
75	桩核修复体的光弹性及有限元应力分析研究 刘玉华 宋世卿 周书敏 尹亚梅 (北京医科大学).....	331
76	哈灵顿棒的实验应力分析 罗卓荆 沈根际 阮狄克 崔海相 张西正 (第四军医大学、西安矿业学院) ...	336
77	新型脊柱内固定器治疗胸腰椎损伤的临床应用及生物力学实验研究 罗卓荆 沈根际 阮狄克 崔海相 张西正 (第四军医大学、西安矿业学院) ...	340
78	一种程控生理信号放大滤波器的设计 朱弋 田学隆、郑尔信 (成都军区昆明总医院、重庆大学).....	345
79	自学习 MMPI 个性研究专家系统设计 杨新明 (中国科学技术大学).....	349
80	视皮层功能柱简化模型的动态特性的研究 曾晓东 汪云九 齐翔林 (中科院生物物理所).....	355
81	初级视觉中的 Gabor 子波表达及其模拟 朱舜山 齐翔林 汪云九 (中科院生物物理所).....	360
82	复杂性度量——探索脑电的新方法 王炯炯 (复旦大学).....	365
83	主动肌和拮抗肌平均传导速度的研究 卢蓉 周炳和 刘萍 倪小敏 (中国科学技术大学).....	371
84	一种新的电泳细胞识别方法 蔡新举 谢维信 (西安电子科技大学).....	376
85	早期听觉系统对复合纯音的频率分析 章惠明 陈蔚 (复旦大学).....	379
86	EMG 信号分解的研究 杨洪宁 钱晓进 杨基海 倪小敏 (中国科学技术大学).....	385
87	单纤维动作电位模型的参数变化研究 章劲松 周炳和 杨基海 倪小敏 (中国科学技术大学).....	388
88	神经子波的不可分辨性与初级视觉的表象基元 崔嵩 汪云九 (中科院生物物理所).....	391
89	工业噪声对心电、脑电流的影响 任秀红 刘文魁 乔惠琳 (山西医学院、山西省环保局)	395
90	双通道心电信号长时间连续采集和实时分析系统 李桥 邵庆余 王永 刘毅 周洪军 (山东医科大学).....	398
91	骨骼肌随意收缩时 EMG/力的关系 吴晓红 周炳和 张作生 杨洪宁 (中国科学技术大学).....	403
92	动态 ECG 分析系统接口的研制 曾祥森 林家瑞 (华中理工大学).....	407
93	数字式长时间心电记录器 阎相国 郑崇勋 (西安交通大学).....	409
94	视网膜电图的微机化检测及临床应用	

	浦其荣 钟龙云 (中国科学技术大学).....	414
95	血流伪彩色实时声谱分析仪的研制 汪源源 王威琪 余建国 邵谦明 (复旦大学).....	418
96	正弦调制声、光脑电诱发仪的研制 潘虹 李江安 张作生 (中国科学技术大学).....	421
97	听觉诱发电位刺激器的研制 唐庆玉 张唯真 汪晓光 曹宇 栾纪源 (清华大学).....	426
98	KH 型 HOLTER 系统的研制 丁哨卫 张作生 公佩祥 郭立秀 (中国科学技术大学、安徽省肺科医院)	428
99	XG- I 心室晚电位分析系统的研制 公佩祥 李江安 张作生 (中国科学技术大学).....	434
100	低流量低压损超声旋涡流量计的研制 包家立 华蕴博 吴瑞英 胡中群 (浙江医科大学、浙江医科大学杭州分校、浙江大学).....	439
101	DH- I 小型动态心电监护仪 曹宇 范宇 林榕 唐庆玉 梁作清 (清华大学).....	444
102	脑电 40Hz ERP 检测系统的研制 王利芸 李江明 张作生 (中国科学技术大学).....	446
103	EMG- 2D1 微机化肌电分析系统 钱晓进 杨洪宁 杨基海 倪小敏 (中国科学技术大学).....	452
104	心室晚电位的检测与分析 谌利群 肖健红 宁新宝 (南京大学).....	457
105	用于心电信号数据压缩的数字信号处理器 邱澄宇 何宏斌 (首都医学院).....	463
106	心电图QRS波群的检测 李红燕 赵源 鲁斌 欧阳楷 (首都医学院).....	467
107	用于植入式多道电子耳蜗的一种数字实时语音特征分析系统研究 侯刚 徐俊荣 (邮电部杭州通信设备厂 上海交通大学).....	471
108	WIS 的医学信息总线 李少虹 王干兵 (中科院安科公司).....	476
109	无扩散红外医学气体分析 王干兵 (中科院安科公司).....	481
110	多气体麻醉安全监护仪 朱农 吕仲霖 王干兵 (中科院安科公司).....	488
111	CT 的重建方法和结构改进 章杨涛 沈国光 (中科院安科公司).....	493
112	基于 TMS 34010 的彩超图象系统 毕亚雷 陈思平 (中科院安科公司).....	499
113	初级视觉的神经动力学描述 王孟 姚国正 (中国科学院生物物理所视觉初级信息加工开放实验室).....	504

医学图像技术的研究前沿

吕维雪

(浙江大学生物医学工程研究所 邮编 310027)

一 前言

医学图像的种类繁多,有: X 线图像, 显微图像, 超声图像, 核磁共振图像, 放射性核素图像等。各种图像都有其特点和适用的领域, 不是其它成像技术所能代替的。由于医学图像含有极其丰富的病人信息而在医生的诊断和治疗中已占有愈来愈重要的地位。医学图像技术又可分为两大部分: 1. 医学成像技术, 2. 医学图像处理技术。前者的主要任务是把人体中医生感兴趣的信息提取出来, 并以图像的形式表现出来。医生感兴趣的信息可以是形态的信息, 功能的信息以及成份的信息等。图像的形式可以是二维的, 三维的以及四维的。医学图像处理技术的主要任务是在获得医学图像以后对它进行分析, 识别, 分割, 解释和分类, 以把某些部分增强, 或提取某些特征。有些场合中成像过程和处理过程也可能是结合成一体的。

早期的医学图像基本上是靠肉眼观察, 照相等所得到的一些表面的图像。在医学图像的历史上两个早期的重要发展是 X 线和显微镜。因为这两项技术的出现使得医生能观察到以往肉眼所无法观察到的活体的宏观和微观结构。从而对放射医学和生理病理学的发展产生了巨大的影响。但是 X 线直接成像所得到的图像实质上是三维结构在二维平面上的投影, 因此各种结构重叠在一起, 使得对图像的理解和分辨较为困难。

到 70 年代后期 X 线计算机断层成像技术 (CT) 的出现在医学图像领域引起又一次革命。X 线计算机断层成像克服了常规 X 线透视图片中结构重叠的问题, 可以得到指定人体内部单一层面的结构形态的图像。

整个 80 年代是各种医学成像技术蓬勃发展的阶段, 除了 X 线以外, 超声、磁共振、正电子、单光子等的断层成像技术和设备大量出现。这些方法各有所长, 互相补充。能为医生作出确切诊断提供愈来愈详细和精确的信息。例如放射性核素成像尽管它的图像分辨率低, 但它是组织化学成像, 特异性高, 对早期诊断十分有用; 显微图像是进行细胞水平研究最重要的方法。不过从成像技术的发展来讲, 目前在临床上最为成熟, 应用最广 (医院中全部图像的 80% 为各种 X 线图像), 并且有重要发展前途的技术主要为三大类: X 线成像技术, 磁共振成像技术和超声

成像技术。除此以外,新的成像理论和技术的研究亦将对医学图像的发展带来新的前景。本文将着重讨论新成像理论方面的研究。

二 成像理论的新概念

目前医学成像技术研究中最重要的是:重建图像的精度,重建速度,以及新的成像原理。

(1) 在 70 年代末到 80 年代初有关 CT 图像重建的理论研究曾十分活跃。但随着目前形式(基于 Radon 变换 - 反变换的投影 - 卷积 - 反投影法) CT 扫描仪的完善,图像重建理论的研究趋于低潮。但是现在图像重建理论所得到的图像在质量上不能令人满意。从表面上看,采用 Radon 变换 - 反变换的投影 - 卷积 - 反投影图像重建方法的理论是严格的。这也是人们对这一方法很少进行进一步探讨的原因。为了说明问题,下面简单地回顾一下由投影重建图像的理论根据。

X 线 CT 是以下面的线积分为基础的

$$p(s, \theta) = \int_{l_s} f(x, y) dl \quad (1)$$

式中 $p(s, \theta)$ 是距离为 s , 方向为 θ 的投影数据, $f(x, y)$ 是坐标为 x, y 点的衰减系数。

式(1)经过变换最终得到

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(x, y) e^{-2\pi i(xX + yY)} dx dy \quad (2)$$

其中 $F(X, Y)$ 是 $f(x, y)$ 的二维傅氏变换。

式(2)的反变换最终可以写成

$$f(x, y) = \int_0^{\pi} [\int_0^{\infty} p(s, \theta) \cdot g(s)]_{s=x \cos \theta + y \sin \theta} ds d\theta \quad (3)$$

其中 $g(s)$ 为卷积函数

$$g(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \pi |S| e^{2\pi i s S} ds \quad (4)$$

以上这些推导都是严格的,但是在离散条件下(这在用计算机处理时是不可避免的)这些关系就不能精确地实现。

此外,在实现中又不得不用某种易于实现的卷积函数来近似式(4),例如用 Shepp - Logan 函数或类似的函数。在作了这样一系列的近似以后,重建的图像究竟能恢复原图像到什么程

度?事实上用不同的卷积函数会得到不同的重建图像。现在已经清楚,投影-卷积-反投影法重建的图像远非最佳的重建图像,而且有相当大的重建误差。

近年来在重要的国际学术刊物 [1-4] 上刊登了一系列有关图像重建方面新理论的论文,在国际学术界引起了极大的关注。在这些研究的基础上又进一步提出了隐含信息提取的新概念 [5]。这些新的理论和技术的研究为新的医学图像的发展开辟了广阔的前景。

在从投影重建图像的式 (1) 中, $p(s, \theta)$ 为已知投影数据, $f(x, y)$ 是待求的像素的衰减系数。重建问题是由 $p(s, \theta)$ 求 $f(x, y)$ 。因此从投影数据重建图像实际上亦是属于逆问题求解的范畴。对于单一的投影数据,式 (1) 的求解是严重欠定的。

如图像是由 $n \times m$ 个像素组成,投影数据为 j 个,则图像重建就是从 j 个数据求 $n \times m$ 个像素的灰度值的问题。在投影数据太少时,求解是欠定的,即有许多个解都能满足已知的投影数据。在投影数据太多时,求解是过定的,即没有一个解能满足所有的投影数据(特别是考虑存在噪声时)。所以在各种情况下从投影重建图像都是没有唯一解的,即所有的重建图像都只是原图像的一种近似,因此图像重建问题就成为求最优解的问题。从这样的观点来看,不论那一种图像重建方法都必然要用一定的准则作为其优化的标准。

在 X 线 CT 扫描仪通用的卷积-反投影算法中这主要表现在卷积函数的选择上。卷积函数对图像质量只有间接的影响。经验已经表明对于不同的组织和结构形态,有不同的“最优”卷积函数,而卷积-反投影法的工作如图 1 所示为一种开环式的工作,重建图像的质量是不受控制的。因此,当投影数据发生变化时,如噪声大小、对象变化等,图像的质量会发生不受控制的变化。

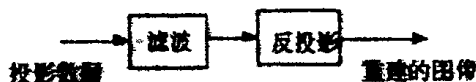


图 1

在这方面,一些基于代数迭代法的算法如 ART, MART, SIRT, MENT [6, 7, 8] 等要更为合理。因为在这些方法中优化的准则直接与重建图像的质量联系,迭代过程重复进行,直到达到准则的极值(极大或极小)时停止。这种方法可以用图 2 所示的闭环式控制来说明。

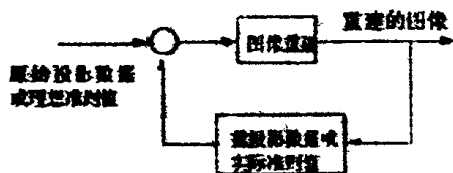


图 2

现在常用的准则有:原投影数据与重建图像再投影之差的平方误差,最大熵,局部峰值性与均匀性等。但是代数法也有其严重缺点。这些缺点也是闭环系统的典型问题,即稳定性,收敛

速度,可能收敛到局部极值等。

从图像重建的速度来讲,变换法经过一次卷积-反投影即得到最终图像,而代数法通常要经过许多次迭代才能得到结果,所以其重建速度要慢得多。从重建图像的质量来讲,现有的这两类方法基本上是在同一数量级上。因此除了少数场合(主要是投影数据少和/或不全的场合)以外,卷积-反投影法在医用CT扫描仪中占统治地位。

从原理上讲,代数法根据图像质量准则来控制重建过程,至少重建图像的质量应该优于变换法。但实际得到的重建图像并非如此。其原因究竟何在,以前并没有做过细致的研究和分析。根据我们的研究(在此略去所有的数学上的证明)得到的结论如下。

从投影数据重建图像质量不够好的根本原因在于图像质量的度量或准则是多方面的,而且这些准则往往是相互矛盾的。以往根据某一个准则来优化重建图像,当优化到某一定程度时,其它不受控制的准则对图像质量的负影响会变得明显或严重。这是造成收敛速度慢,甚至变得不稳定的原因,也是收敛到局部极值的原因。

由此得出结论是:合理的图像重建算法应该是同时考虑多个准则的优化算法。可以预见由多准则优化的图像重建算法将能解决目前代数迭代法所存在的各种问题,包括重建图像的质量,稳定性,重建速度,收敛到局部极值等。

我们的研究证明了上述的预见 [1-4]。在本文中我们不准备讨论从投影数据重建图像的多准则优化所涉及的各种数学和理论问题。下面仅示出用现有各种算法和多准则优化算法所重建的图像,并进行比较。

要对重建图像进行定量比较,原始图像必须是已知的。因此国际上通常采用 Shepp-Logan 人头模型(图3)作为原始图像。它由一组不同大小的椭圆组成,各具有与人脑截面中各结构成份的衰减系数(对X线)相当的灰度值。重建的图像应恢复各椭圆的几何形状以及各部分的灰度值。在表示重建结果时,由于人眼对灰度值的分辨率相当低,所以我们将各种方法的重建图像用三维图像来表示,其中Z轴表示灰度值。对各种方法都是采用 127×127 个投影数据,重建图像为 127×127 个像素。

图4(a)-4(f)相应为原始图像,卷积-反投影重建图像,ART重建图像,MART重建图像,SART重建图像,以及用一种多准则优化算法的重建图像。由图可见,多准则优化重建的图

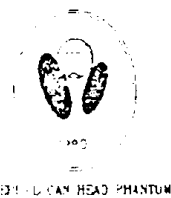


图 3

像明显优于其它各种算法。我们的初步研究结果表明,多准则优化重建图像的误差(指投影数据与再投影数据之间的误差)要比其它方法小一个数量级左右。就图像重建的速度而言,用多准则优化一般一次迭代即可达到卷积-反投影法的重建精度。3-5次迭代可达到稳定的结果。

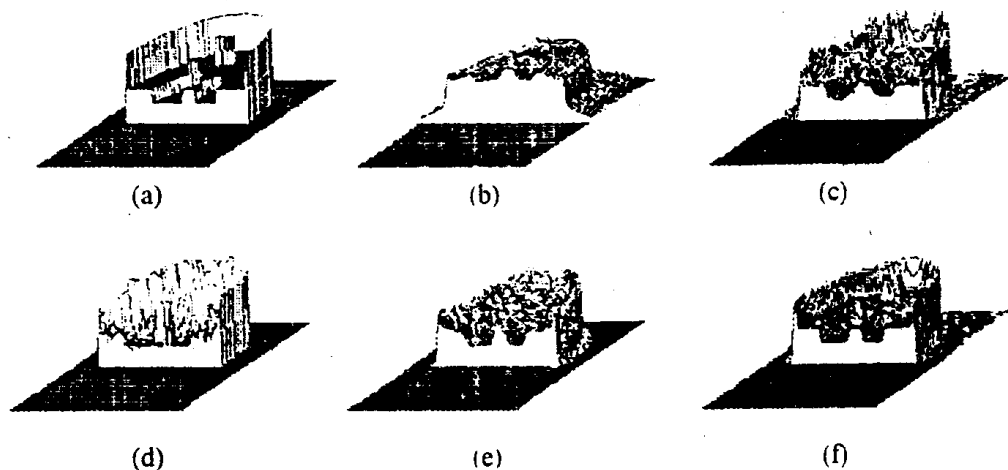


图 4

3 隐含信息提取

A. 信号中的隐含信息

在研究图像重建的过程中我们发现 X 线 CT 扫描仪的由投影数据重建图像的问题是一类更为普遍的问题中的一个特例。这类更为普遍的问题就是信号中隐含信息的提取。

因为隐含信息是我们提出的一个新概念，所以首先需对它加以定义。以 X 线透过人体为例(图 5)，检测器的输出信号，如式(1)那样，为

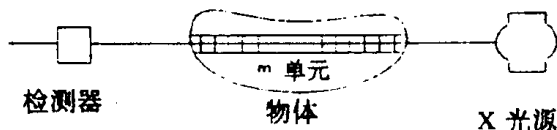


图 5

$$p(s, \theta) = \int_{l_{in}} f(x, y) dl \quad (5)$$

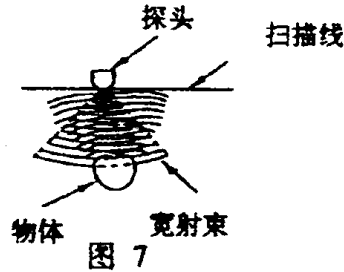
因 $f(x, y)$ 是 $p(s, \theta)$ 的隐函数，所以我们称 $f(x, y)$ 为信号 $p(s, \theta)$ 中的隐含信息。如果有图 6 所示的探测器阵列，则这一组探测器的输出信号中就隐含了整个人体截面的结构形态信息。图像重建的问题就是把这些隐含信息提取出来的问题。



图 6

其实隐含信息的形式非常多样化,涉及非常广泛的领域。下面是一些例子。

图 7 所示为用不聚焦超声波发射的情况,如在超声全息 B 扫 (UHB) 系统中所用的那样。在 UHB 系统中一个探头发出一束扇形超声。超声波在具有不同声阻抗的界面上有大的回波。由于超声是非聚焦的,所以该探头将接收到不同界面来的回波信号。于是该探头在时间 t 时的输出为



$$p_t = \sum_{j=1}^n w_j f_j(\theta_j) \quad (6)$$

其中 $f_j(\theta)$ 是从界面 j 来的回波强度。如再考虑到组织对超声的衰减,则

$$w_j = \int_{l_{0j}} f_{0j}(x, y) dl_{0j} \quad (7)$$

最后得到

$$p_t = \sum_{j=1}^n f_j(\theta_j) \iint_{xy \in D} f_2(x, y) \delta(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - l_j) dx dy \quad (8)$$

在此场合中探头输出信号中的隐含信息是各界面的位置及各处组织对超声的衰减系数。把界面信息提取出来即得到超声回波图像。由于不受波束聚焦质量的影响,所以这种方法可以得到高的横向分辨率 [9]。如把衰减系数的隐含信息提取出来,则还可以得到组织分布的图像等。

最后再举一个说明复杂系统中隐含信息的例子。众所周知,体表心电图是反映心脏电活动的结果。心脏是由一些特殊的心肌细胞所组成,有些心肌细胞具有自律性,能发放周期性的电激动,有些心肌细胞具有较快的传播电兴奋的速度,而有些就较慢。每一心肌细胞从兴奋到复原又可有不同的过程(决定于该细胞的动作电位特性)。在病理状态下心肌细胞的这些特性都会发生变化。所以由成亿个心肌细胞组成的心脏是一个十分复杂的系统。

心脏的正常工作是由窦房结发出电激励的信号,经房室结,左、右束支,希氏束,普肯野纤维等特殊心肌细胞把兴奋传到左、右心房、心室,并通过普通心肌细胞的激励和复原,造成心房、心室的收缩、舒张序列。在这个过程中任何心肌细胞特性的变化都将对兴奋的传播过程发生一定的影响,从而对心房、心室的工作产生一定的影响。这种兴奋的传播只限于心脏的范围内,心脏外的细胞不具有心肌细胞的特性,所以它们只是把心外膜上的电位综合地传导到体表,从而得到体表心电图。根据上述的过程可以知道“体表任一点在某一时刻 t 的电位是由心外膜各点在该时刻的电位对体表该点的电位贡献总和组成。所以说体表一点 t 时的电位值含有心外