

文章编号:1671-6833(2013)03-0022-04

体部伽马刀放疗中精确靶位控制系统的仿真设计

张建华¹, 余 辉¹, 黑灵巧², 王明霞¹, 魏迎军³

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州人民医院 设备科, 河南 郑州 450003; 3. 黄淮学院 电子科学与工程系, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 介绍了一种新颖伽马刀摆位床的控制方法. 该方法通过 BFGS 算法建立由人体呼吸而产生的肿瘤位移的位移模型, 用压电传感器采集患者呼吸信号, 单片机系统接收到压电传感器发出的呼吸信号后会对步进电机进行控制, 从而使摆位床按呼吸规律的逆向进行运动. 仿真实验结果表明, 该设计能够减少呼吸运动造成的肿瘤偏移幅度, 为伽马刀摆位床的控制提供了一种新颖的方法和理论依据.

关键词: BFGS; 优化建模; 传感器; 步进电机; 单片机

中图分类号: TP29; R318.6

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.03.006

0 引言

我国是肿瘤发病率较高的国家之一^[1]. 目前治疗手段首选手术切除, 但该方法存在患者痛苦、价格高、风险大等问题; 而放射治疗肿瘤费用低、风险小、疗效显著, 因此放射治疗逐渐成为治疗肿瘤的首选方法. 采用放射法治疗肿瘤的原则是最大限度提高病变组织的射线受量和减少正常组织射线受量, 因此精确放疗意义重大^[2]. 在体部肿瘤的放疗中, 尤其是在胸、肺、上腹部的放疗中, 由于呼吸运动造成的靶位最大位移达到 20 mm 左右^[3], 导致在放疗的过程中肿瘤周围的正常组织受到与计划受量有明显差别的辐射, 从而增加了正常组织并发症的概率. 因此, 设计一种能减少伽马刀放疗对患者正常组织损害的系统依然是伽马刀放疗领域的研究热点.

1 设计方案

为了实现肿瘤放疗的“三精”问题, 本设计系统框架如图 1 所示. 由图 1 可知, 步进电机的控制、靶点位移模型的建立、患者呼吸信号的采集是伽马刀摆位床研究的关键. 患者在治疗时的呼吸信号被压电传感器采集后, 输送给单片机系统, 此时单片机会控制 3 个步进电机做相应的转动, 从而带动摆位床按呼吸规律的逆向进行运动, 以降

低呼吸对放疗精度的影响.

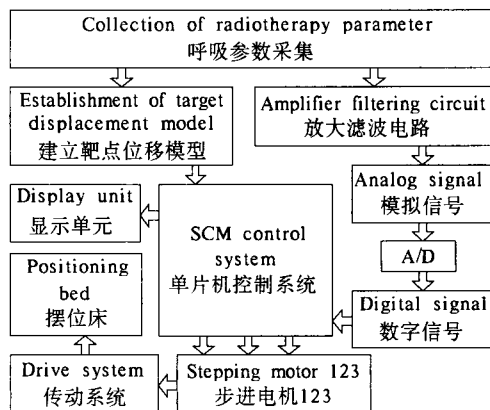


图 1 智能摆位床系统的设计框图

Fig. 1 The design diagram of intelligent positioning bed system

1.1 硬件系统

本设计采用丝杆为滚珠螺杆(直径 $D = 20$ mm, 长度 $L = 1$ m); Z_1 和 Z_2 为两个传动齿轮, 直径分别为 $d_1 = 20$ mm, $d_2 = 100$ mm, 宽度均为 $w = 20$ mm, 摩擦系数取为 $\mu = 0.2$; 取病人与摆位床的重量 $P = 120$ kg; 在 x, y, z 3 个方向上受力 $F_x = 1\ 176$ N, $F_y = F_z = 235$ N; 通过计算得出负载转矩 $T = 2.4$ N · m, 滚珠螺杆转动惯量 $I_0 = 0.012$ kg · m², Z_1 和 Z_2 的转动惯量分别为 $I_1 = 0.031$ kg · m², $I_2 = 0.002$ kg · m², 传动比 $I_{21} = 2$, 步进电机起动转矩 $T_m = 8.6$ N · m, 考虑到其他外部因素的影响将

收稿日期:2012-12-01;修订日期:2013-01-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60905039).

作者简介:张建华(1971-),男,河南郑州人,郑州大学副教授,主要从事信号检测与处理研究, E-mail: petermails@zzu.edu.cn.

T_m 乘上一系数,在这里取 $\alpha = 1.5$,得到步进电机启动转矩 $T_{ma} = 12.9 \text{ N} \cdot \text{m}$. 根据设计需要的速度和 T_{ma} 查找步进电机选型手册,选出了 SM 150 - 180 - 20 LFB 型号步进电机;根据步进电机的额定电流和设计的精度要求选取 SA3L15C 型号的驱动器.

肿瘤运动是一个三维运动过程^[4],在硬件设计中就需要将其分成三个方向的运动,并用三个步进电机分别控制. 单片机控制步进电机系统框图如图 2 所示.

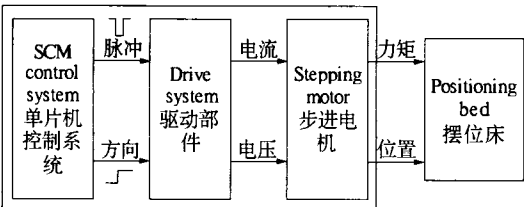


图 2 单片机控制步进电机系统框图
Fig.2 The block diagram of stepping motor system controlled by single chip microcomputer

SM 150 - 180 - 20 LFB 型号步进电机是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构,当步进驱动器每接收到一个脉冲信号,它就驱动步进电机按设定的方向转动 1.8° . 工作时,通过控制脉冲个数来控制角位移量,从而达到准确定位的目的;同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度,从而达到调速的目的. 为了提高摆位床运动的精确度,让驱动器工作在 4 细分状态下,这时,步进电机每接收一个脉冲信号就会按设定的方向转动 0.45° ,再通过滚珠螺杆将步进电机的运动转化成直线运动,从而带动摆位床运动,降低呼吸对放疗精度的影响.

1.2 软件系统

本设计采用 C 语言进行编程,在 windows7 环境下利用编程软件 Keil uVision3 进行编写. 软件的主要功能是控制步进电机的启动、运转方向、运行速度的变化等.

2 靶点位移模型的建立

根据伽玛刀放射治疗肿瘤的治疗要求,笔者利用 CT 扫描和实时成像技术^[5]获取肿瘤随着周期性呼吸运动而改变位置的横断面图像,使用插值算法重建实际的图像序列. 重建的序列可以反映出肿瘤在不同呼吸周期中的变化规律,从而得到肿瘤的偏移数据. 采用压电传感器得出患者的呼吸信号曲线. 由于肿瘤的移动与呼吸同时进行,

且周期相同,所以可以将两者通过时间建立起对应的关系,最后通过采集患者的呼吸信号来确定肿瘤的位移数据. 由于该患者的呼吸周期约为 4.4 s,从所得数据中选取一个呼吸周期内肿瘤的 44 组偏移数据. 为了更加直观地检验本实验所选取的 44 组偏移数据的质量,44 组偏移数据分别在 x 、 y 、 z 轴的显示如图 3 所示,由该图可以看出:所选取的数据能够很好地反映出肿瘤的偏移信息.

根据本设计对精确度的要求,分别采用粒子群算法(PSO)、标准差分进化算法(DE)、准牛顿算法(BFGS)和遗传算法(GA)对该实验数据进行处理,通过比较 4 种算法的拟合程度及综合评估,最终选择拟合程度高、算法运行时间短的准牛顿算法,4 种算法的相关因素比较见表 1.

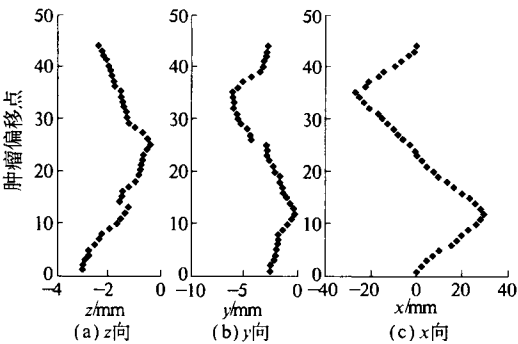


图 3 44 组肿瘤偏移数据分别在 x 、 y 、 z 方向上的显示
Fig.3 The visual display of the 44 groups of offset datas at x 、 y 、 z directions

表 1 4 种算法相关因素比较表

Tab.1 The relevant factors comparison table of four algorithms				
算法	拟合程度 R	拟合时间 t/s	残差平方和 SSE	决定系数 DC
PSO	0.90	7.57	0.19	0.83
DE	0.86	4.71	0.26	0.74
GA	0.87	6.23	0.19	0.82
BFGS	0.92	5.02	0.12	0.91

附注:当 DC 越接近 1 时,表示模型参考价值越高;反之,越接近 0 时,表示参考价值越低.

通过表 1 可以看出:BFGS 的 R 、 SSE 、 DC 均是 4 种算法当中最好的,利用 BFGS 算法得到的优化模型为

$$\begin{cases} z = k * \frac{-0.62 + 0.02x - 1.53y - 1.20y^2 - 0.03y^3}{1 - 0.01x + 2.59y + 2.14y^2 + 0.60y^3}; \\ -25.4\text{mm} < x < 26.7\text{mm}; \\ -6.2\text{mm} < y < -0.2\text{mm}. \end{cases}$$

将该实验数据中的 x 和 y 代入上式,经过

Matlab7.0 进行编程,得出 z 的计算值,将 z 计算值与实际 z 值对比如图 4 所示.由该图可看出,该模型具有很好的拟合性.

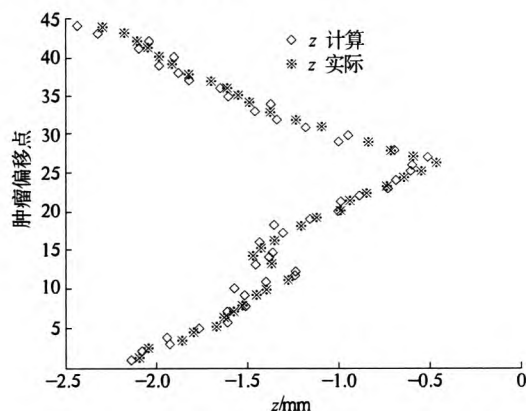


图 4 BFGS 模型得出 z 计算与实际 z 值对图

Fig.4 The comparison chart of z value obtained by BFGS model and actual z value

由于患者个体的差异性,每个患者所对应的优化模型就会有一定的差异.模型中 k 为权重,不同的患者有不同的 k 值.影响 k 值的因素包括身高、体重、肺活量、性别、年龄等因素,导致的最终结果是肿瘤偏移数据的不同.通过更改程序中肿瘤的偏移数据,不同患者的优化模型就能很容易得到.

3 结果与讨论

使用该控制方法后,再次通过 CT 扫描和实时成像技术,获得肿瘤随着周期性呼吸运动而改变位置的横断面图像,使用插值算法重建实际的图像序列.重建的序列可以反映出肿瘤在不同呼吸周期中的二维变化规律,从而得出使用控制方法后肿瘤的偏移数据(x 方向).通过 Matlab7.0 将使用控制方法前 x 方向肿瘤位移数据和使用控制方法后测得 x 方向肿瘤位移数据进行对比分析,如图 5 所示.

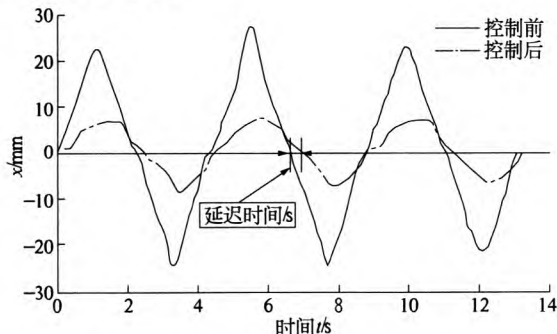


图 5 x 方向肿瘤位移波形在使用控制方法前后的对比图

Fig.5 Contrast diagram of tumor displacement waveform in x -axis before and after control method

图 5 反映出了 3 个呼吸周期中使用控制系统前、后肿瘤偏离的位移波形.实线为未使用该控制方法前肿瘤偏离的位移波形,点画线为使用了该控制系统后肿瘤偏离靶点的位移波形.通过对比可以看出,使用该控制系统能够减少呼吸运动造成的肿瘤偏移幅度.从图 5 可以看出,该系统具有一定的延迟性,分析原因主要有以下 3 个方面:①单片机程序运行造成的延迟时间;②步进电机的释放信号、驱动的控制信号、方向的控制信号都需要一定的延迟时间才能有效,也造成了延迟时间;③实验时人为导致的各种误差等.同时,使用相同的方法得出 y 、 z 方向和 x 方向具有类似的结论.

4 结论

使用摆位床控制系统,能够有效地减小放疗时呼吸导致的肿瘤偏移幅度,这对减少肿瘤周围正常组织受照剂量,减少患者的并发症起到很重要的作用.但是,由于单片机系统和步进电机驱动系统都具有一定的延迟性,摆位床的运动必然会滞后于呼吸运动;用压电传感器检测到的患者呼吸信号并不与体内的肿瘤运动有相同的运动规律^[6];肿瘤位移数据的采集也没有一个统一认可的方法,国内外不同学者运用不同的方法得到的肿瘤位移存在差异^[7].因此,如何解决以上问题依然是国内外专家研究的热点和提高肿瘤放疗精度的关键.

参考文献:

- [1] 郑荣寿,张思维,吴良有,等.中国肿瘤登记地区 2008 年恶性肿瘤发病和死亡分析[J].中国肿瘤,2012,21(1):1-12.
- [2] 任金山.浅谈中医与西医放射结合治疗肿瘤的优势与疗效[J].中医临床研究,2011,3(6):115-116.
- [3] 伍锐,陈超敏.呼吸控制在肺部肿瘤精确放疗治疗中的应用[J].生物医学工程研究,2009,28(2):159-162.
- [4] 赵军,陈健龙,张茂,等.颅内动脉瘤介入诊疗中三维旋转造影成像技术分析[J].中国老年学杂志,2012,32(2):241-243.
- [5] 张明鑫,王健生.肿瘤动物模型影像学研究进展[J].中国现代普通外科进展,2007,10(6):520-523.
- [6] DANIEL A, PARAG J, WEI L, et al. Novel breathing motion model for radiotherapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 63: 921-929.
- [7] 胡永果.探索中央型肺癌肿块位移的影响因素及其数学模型的建立[D].兰州:兰州大学第一医院,2010.

Simulation Design of Precise Target Control System in Body Gamma Knife Radiotherapy

ZHANG Jian-hua¹, YU Hui¹, HEI Ling-qiao², WANG Ming-xia¹, WEI Ying-jun³

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Equipment department, Zhengzhou People's Hospital, Zhengzhou 450003, China; 3. Department of Electronic Science and Engineering, Huanghuai University, Zhumadian, 463000, China)

Abstract: This paper introduces a novel control design of gamma knife positioning bed. Respiratory movements would inevitably cause tumor displacement. In this design, tumor displacement model produced by human respiration was established through BFGS algorithm. Firstly, piezo sensor was used to collect respiratory signal. Secondly, in order to make the positioning bed move by reverse respiration, after receiving the respiratory signal, single chip microcomputer (SCM) system would control stepping motor. The simulation experiment results showed that this design can reduce the influence of respiratory movements on the precision of radiotherapy, which produces a novel method and theoretical basis for the control of gamma knife positioning bed.

Key words: BFGS; optimization modeling; sensor; stepping motor; SCM

(上接第 21 页)

Study on Zhengzhou Metro Traction Power System Load Forecast and Impact

BAO Yi¹, HU Jing², GUO Han³, CHEN Gen-yong¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Henan Electric Power Company Technical Skills Training Center, Zhengzhou 450051, China; 3. Yuzhou Power Supply Company, Yuzhou 461670, China)

Abstract: In view of the impact of metro traction power load on the urban network, according to the pre-design data and the short, mid and long-term metro transit scale of Zhengzhou metro transit line 1 and 2, this paper used the average volume method to obtain the transit supply power by specifically quantum calculation, and the load forecast can be got with linear regression method. Finally, the evaluation of the impacts of Zhengzhou metro traction power supply system to urban distribution network can be achieved. The analysis showed that the contribution rate of rail transport electricity to the distribution network is about 2%, and the rail transit peak load with urban network peak load does not overlap, so the impact of Zhengzhou rail transit system electricity grid is very small. Its conclusions can provide a reference for the network planning in Zhengzhou.

Key words: metro traction power system; power estimation; linear regression; load forecasting