

# 基于ARM的医用加速器摆位控制系统研制

陈明明, 陈颖, 陈相宁, 葛云

南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210023

**【摘要】目的:**为研究医用加速器摆位的自动化, 研制了一种具有上位机、下位机和机械装置的辅助摆位控制系统, 配合光学定位系统和红外定位系统使用, 能够自动摆位到0.5 mm的精度范围。**方法:**上位机软件基于微软基础类库(MFC)开发, 主要包括分析处理坐标信息和自动摆位控制算法。下位机基于高级精简指令集机器(ARM)微控制器开发, 包括RS232串口通信电路、舵机控制电路及电源等, 主要通过控制舵机来操作加速器床的控制面板。**结果:**通过实验调试和临床测试, 该系统能够准确地和光学定位系统交互, 能完成自动化摆位, 精度符合要求, 摆位时间缩短。**结论:**该方案是创新性设计, 软件操作简单, 硬件安装方便, 具有低成本低功耗的特点。

**【关键词】**医用加速器; 光学定位系统; 自动摆位; ARM微控制器; 舵机控制

**【中图分类号】**R318.6; TP241

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2015)06-0790-04

## Development of medical accelerator positioning control system based on ARM

CHEN Ming-ming, CHEN Ying, CHEN Xiang-ning, GE Yun

Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China

**Abstract: Objective** To study on the automation of medical accelerator positioning by developing an assist positioning control system with host computer, slave computer and mechanical devices. Combined with optical positioning system (OPS) and infrared positioning system, the system can achieve the automatic positioning accuracy of 0.5 mm. **Methods** Host computer software was developed based on MFC, including the analysis and processing of coordinate information, and automatic positioning control algorithm. And the slave computer was developed based on ARM microcontroller, including RS232 serial communication circuit, servo control circuit and power supply. The control panel of accelerator bed was mainly operated by controlling servo. **Results** After the experimental debugging and clinical commissioning test, the system could accurately interact with OPS system, and achieve the automatic positioning. Additionally, the positioning accuracy met the requirements and the positioning time was shortened. **Conclusion** The program is an innovative design, with sample software operation, easy hardware installation, low cost and low power.

**Key words:** medical accelerator; optical positioning system; automatic positioning; ARM microcontrollers; servo control

## 前言

现代医学的发展对医疗设备的智能化和自动化提出了越来越高的要求, 而自动化控制技术将加快医疗设备的现代化进度<sup>[1]</sup>。医用直线加速器已被广泛应用于肿瘤患者的放射治疗, 放疗的精度要求极高<sup>[2-3]</sup>。然而控制医用加速器床的升降、前后、左右的移动一直是放疗师手工操作, 在高精度的要求下, 放

疗师的手工摆位不便利且耗时<sup>[4-7]</sup>。因此我们提出研发一种全自动摆位系统, 摆位算法只需测量加速器床特定参数, 便可自主进行学习和记录床的运动性能。

## 1 系统总体结构

本系统由上位机数据处理软件模块、下位机软件模块、驱动电路模块、舵机控制模块、机械模块组成。系统总体结构图如图1所示。

光学定位系统(Optical Positioning System, OPS)采用OPS-08A放射治疗红外定位系统, 该定位系统可以精确计算加速器床的实时位置三维坐标<sup>[8]</sup>。本系统上位机软件界面是基于微软基础类库(MFC)的编程, 与OPS软件通过进程间共享内存通信获取实

**【收稿日期】**2015-06-04

**【基金项目】**国家自然科学基金(81371638); 中央高校基本科研业务费项目(1106021034); 江苏省自然科学基金(BE2012158, BK2011393, BY2012186)

**【作者简介】**陈明明(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事嵌入式软硬件设计。Tel: 18205186395; E-mail: chenmm.nju@foxmail.com。

**【通信作者】**陈颖(1976-), 男, 副教授。E-mail: yingchen@nju.edu.cn。

时三维坐标后,通过自适应智能算法得到控制指令,控制指令通过RS232串口通信发送给下位机;采用基于高级精简指令集机器(ARM)Cortex-M3内核微处理器的下位机接收到控制指令,解析到舵机控制模块以驱动机械装置,进而操控医用直线加速器床的控制面板,移动床至目标位置,完成自动摆位过程。

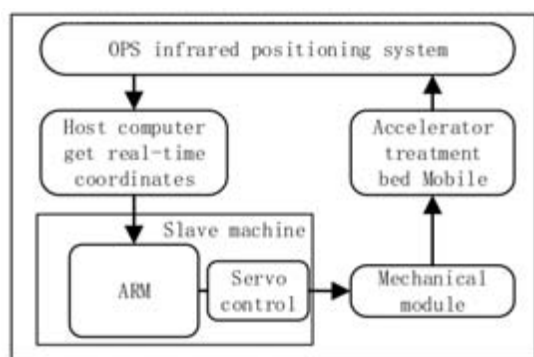


图1 系统结构图

Fig.1 System structure diagram

Note: OPS: Optical positioning system

## 2 系统硬件设计

### 2.1 微处理器

使用的LPC1768是NXP公司推出的基于ARM Cortex-M3内核的微控制器。ARM Cortex-M3是一个通用的32位微处理器,用于处理要求高度集成和低功耗的嵌入式应用,具有高性能等优点,操作频率可达100 MHz,外设组件包含高达512 kB的Flash存储器、64 kB的数据存储器、以太网MAC、UART、CAN通道、SSP控制器等接口、电机控制PWM、正交编码器接口、4个通用定时器、6路输出的通用PWM等<sup>[9]</sup>。

### 2.2 舵机控制模块

舵机是一种位置(角度)伺服的驱动器,适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。由于可以通过程序连续控制其转角,因而被广泛应用于机器人各类关节运动中。它是由直流电机、减速轮组、传感器和控制电路组成的一套自动控制系统。舵机的控制需要一个20 ms的时基脉冲,该脉冲的高电平部分一般为0.5 ms~2.5 ms范围内的角度控制脉冲部分,脉宽占空比为2.5%~12.5%,对应的舵机角度伺服为0°~180°,脉宽与角度伺服是绝对对应关系<sup>[10]</sup>。驱动电压为4.8 V~6 V。LPC1768提供6路输出的通用PWM,我们需要5路输出控制5路舵机,分别控制加速器床的X方向、Y方向、Z方向、R旋转、E使能按键。

### 2.3 串口通信模块

本方案上位机与下位机采用串口通信协议。使用MAX3232 CSE芯片实现RS-232-C标准到TTL标准的电平转换。在实际工作中,当波特率为9600时,理论传输距离可以达到15 m,满足放疗控制室到治疗室的距离要求。LPC1768总共有4个UART(通用异步收发器)接口,默认情况下UART0/1是打开的,UART2/3是关闭的,可以通过芯片外设功率控制寄存器PCONP来控制。

通信协议数据包有固定的4个字节长度,具体如下:(1)首部(Head, 16 bit):两个字节的开销0X0A和0X0D是数据包头,以便下位机接收到数据后对齐和提取有效数据;(2)方向标识(Direction, 4 bit):指明标识方向,4 bit信息可以标识16个方向,本设计只需要给5路舵机编号,分别控制加速器床的前后、上下、左右方向移动、旋转和方向移动使能键;(3)控制信息(Control, 4 bit):指明控制指令的类型,可控制多路舵机状态,包含复位指令、使能指令完成摆位指令等;(4)PWM脉宽值(PWM, 8 bit):指明舵机控制脉冲的高电平值,因为控制舵机的脉宽在0.5 ms~2.5 ms,所以PWM脉宽值对应范围在50~250。

### 2.4 机械装置模块

机械装置是一套机械机构,其直接与医用加速器床控制面板上的按键接触,以操控按键来控制加速器床的移动。根据在现场测量医用加速器控制面板尺寸数据、按键的功能及位置,设计出与其相匹配的简易可靠的推动机构。

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件总体设计

该系统软件设计包括PC上位机和ARM下位机两部分。上位机软件由MFC编写分层设计,包括负责与用户交互的UI层、分析数据的逻辑层、底层控制层。上位机的功能是通过进程间的内存共享读取OPS计算出来的实时三维空间坐标,然后对得到的坐标信息进行分析决策,最后发送指令给下位机。上位机还有应对紧急情况下安全处理的能力,能够紧急停止和快速启动等。临床试验发现,不同的医用加速器床的移动性能并不一样,为了开发具有普遍适应性的控制系统,提出了自适应摆位控制算法。自适应摆位控制算法的基本思想是将摆位分为初始速度数据测量阶段和正常自动摆位阶段。

### 3.2 初始速度数据测量

在首次运行时,点击UI界面的“初始数据测量”按钮,系统运行初始速度数据测量模块,针对该加速

器床的各个移动方向进行初始速度测绘。床的每个方向上的初始速度包括最小速度、最大速度以及在最小和最大速度中间平均取3点得到的中间速度一共5个速度。因此在采集完前后、左右、上下6个方向的共30个速度值后,系统便建立了初始的PWM脉宽到加速器床移动速度的映射表。映射表以文件的形式保存至磁盘,以便在以后的正常自动摆位中查询。一般情况下,每张表只适配与其对应的加速器床,初始化只需要在首次运行时操作。

### 3.3 自动摆位算法

自动摆位主要逻辑流程图如图2所示。正常摆位时,算法包括方向控制决策、方向舵机PWM脉宽决策和自我学习3个部分。

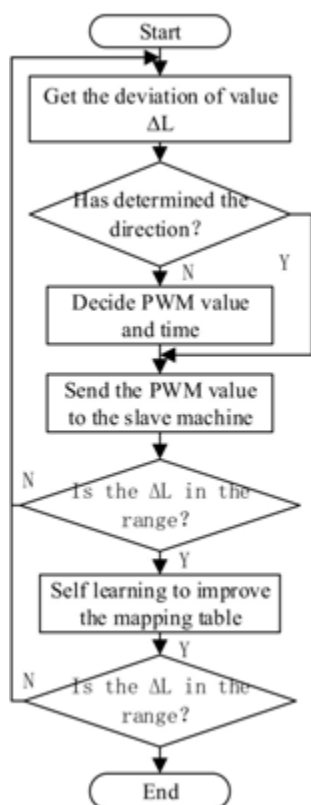


图2 上位机软件主要逻辑图

Fig.2 Logic diagram of the host computer software

Note: PWM: Pulse-width modulation

**3.3.1 方向控制决策** 根据起始点与目的点的偏差 $\Delta L$ ,生成方向控制方案。在一般情况下,床的初始位置与目的位置偏差较大,又要保证摆位精度在要求的0.5 mm范围内,所以提出3阶段方向控制,包括快速摆位、慢速微调 and 精细微调。快速摆位阶段,加速器床在X方向、Y方向和Z方向上同时向目的点移动,快速逼近目标位置。慢速微调阶段,根据当前3个方向的偏差值 $\Delta L$ 的排序,选择合适的速度依次向目标

位置靠近。精细微调阶段和慢速微调阶段类似,不同的是必须要在映射表里选择该方向的最小速度缓慢移动加速器床,以达到系统要求的精度。

**3.3.2 舵机PWM脉宽决策** 算法依据方向控制决策的结果来设计。首先查询初始数据测量所生成的映射表,获得某个决策方向的PWM脉宽值与速度的映射,则最大速度 $V_h$ 对应 $PWM_h$ ,而最小速度 $V_l$ 对应 $PWM_l$ 。然后通过差值查找法,查找到我们需要的两点映射 $(PWM_h, V_h)$ 和 $(PWM_l, V_l)$ ,从而计算PWM脉宽值和摆位时间。

在快速摆位阶段,以最大速度移动床的时间 $T_0 = \Delta L / V_h$ 。若 $T_0 \geq t$ ,则由公式(1)、(2)计算PWM脉宽值和摆位时间。

$$PWM = PWM_h \quad (1)$$

$$T = T_0 \quad (2)$$

若 $T_0 < t$ ,则由公式(3)、(4)计算PWM脉宽值和摆位时间。

$$PWM = \frac{PWM_h - PWM_l}{V_h - V_l} \cdot \frac{\Delta L}{t} + PWM_l \quad (3)$$

$$T = t \quad (4)$$

其中: $t$ 是预设时间,本阶段设计 $t=5$  s。

在慢速微调阶段,以最小速度移动床的时间 $T_1 = \Delta L / V_l$ 。若 $T_1 \leq t$ ,则由公式(5)、(6)计算PWM脉宽值和摆位时间。

$$PWM = PWM_l \quad (5)$$

$$T = T_1 \quad (6)$$

若 $T_1 > t$ ,则PWM脉宽值和摆位时间 $T$ 由公式(3)、(4)计算,其中预设时间 $t=3$  s。

精细微调阶段, $PWM = PWM_l$ ,此阶段不需要计算摆位时间,直到加速器床摆位到系统精度范围内即完成自动摆位。

**3.3.3 自我学习完善映射表** 每个方向上的脉宽值和移动时间做出决策后,下位机接收并执行指令,软件就开始实时监测床的移动速度。在床移动时间内计算其平均速度,记录此速度值和对应的脉宽值,病人的每一次治疗都将补充和完善映射表。不断完善映射表后,速度值会更加准确,摆位时间 $T$ 也会随之计算的更加准确。

### 3.4 下位机软件

针对ARM Cortex-M3开发的下位机软件主流程图如图3所示。下位机主要是UART和PWM编程,通过UART设置与上位机通信。舵机控制需要PWM脉宽调制,通过PWM初始化,设置PWM输出。下位机编程的主要工作是解析接收到的上位机数据,以控制5路舵机工作。下位机加入看门狗程序,以提高下位机工作的安全性。



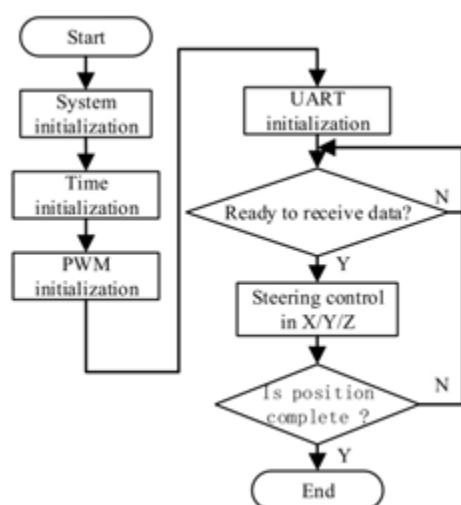


图3 下位机主流程图

Fig.3 Flow chart of slave computer

## 4 实验

为了测试本方案的可行性,选择目前被医院普遍应用的瓦里安(Varian)直线加速器作为测试对象,如图4所示。



图4 现场测试图

Fig.4 Field test

以加速器床左右方向为例,左右方向移动速度-PWM脉宽映射表如图5所示。图5a为初始测量的速度-PWM脉宽映射表,图5b为经过10次自动摆位实验后建立的映射表,结果显示映射表更加丰富。经过临床试验,此加速器床辅助摆位控制系统均能成功摆位到精度在0.5 mm范围内,并且摆位时间缩短到35 s左右,能满足临床的应用要求。

## 5 结论

本文设计了医用加速器床辅助摆位控制系统,以ARM为主控芯片,通过UART与上位机通信,控制5路舵机的动作。试验结果表明本系统可以成功利用OPS定位的结果、生成舵机控制方案、提供UI界面与医生交互,还具有一些紧急情况下安全处理的能力。软件操

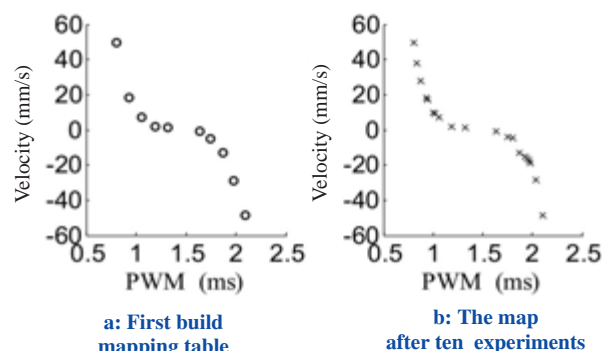


图5 速度-PWM脉宽映射表

Fig.5 Speed-PWM map

作简单,仪器安装方便快捷,为放疗医师节约了时间。

## 【参考文献】

- [1] Osler W. The evolution of modern medicine[J]. Am J Public Health, 2013, 12(12): 1051-1052.
- [2] Siegel R, Ma J, Zou Z, et al. Cancer statistics, 2014[J]. Ca-Cancer J Clin, 2014, 64(1): 9-29.
- [3] 殷蔚伯, 谷铎之. 肿瘤放射治疗学[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2008: 182.  
Yin WB, Gu XZ. Radiation oncology therapeutics[M]. Beijing: China Union Medical University Press, 2008: 182.
- [4] 赵辉, 赵文晖, 师芳, 等. 提高放射治疗摆位精度[J]. 现代肿瘤医学, 2013, 21(6): 1351-1353.  
Zhao H, Zhao WH, Shi F, et al. Improvement on target positioning precision in radiation therapy IGRT[J]. Journal of Modern Oncology, 2013, 21(6): 1351-1353.
- [5] Moser T, Habl G, Uhl M, et al. Clinical evaluation of a laser surface scanning system in 120 patients for improving daily setup accuracy in fractionated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol, 2013, 85(3): 846-853.
- [6] Brouwers PJ, Lustberg T, Borger JH, et al. Set-up verification and 2-dimensional electronic portal imaging device dosimetry during breath hold compared with free breathing in breast cancer radiation therapy[J]. Pract Radiat Oncol, 2015, 5: e135-e141.
- [7] 吴君心, 谢志原, 王永川, 等. 应用锥形束CT研究盆腔肿瘤放射治疗分次间及分次内的摆位误差[J]. 肿瘤学杂志, 2013, 19(4): 245-248.  
Wu JX, Xie ZY, Wang YC, et al. A study of interfractional and intrafractional setup errors in radiotherapy by Cone Beam CT (CBCT) for pelvic cancer[J]. Journal of Oncology, 2013, 19(4): 245-248.
- [8] 郁洋, 葛云, 钱冯元. 放疗自动实时跟踪定位系统的研制[J]. 医疗卫生装备, 2008, 29(11): 5-7.  
Yu Y, Ge Y, Qian FY. Development of automated real-time tracking and localizing system in radiotherapy[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2008, 29(11): 5-7.
- [9] Fick D, Dreslinski RG, Giridhar B, et al. Centip3De: A cluster-based NTC architecture with 64 ARM cortex-M3 cores in 3D stacked 130 nm CMOS[J]. IEEE J Solid-St Circ, 2013, 48(1): 104-117.
- [10] 刘健飞, 高智刚, 李朋, 等. 一种微型多路电舵机控制驱动器设计[J]. 微特电机, 2013, 41(12): 53-56.  
Liu JF, Gao ZG, Li P, et al. Design of miniature multi-channel electric actuator control drivers[J]. Small & Special Electrical Machines, 2013, 41(12): 53-56.