

Development of Multi-axis Motion Control System for SPECT

Lifeng Guo^{1,a,*}, Fei Zhang^{1,b}, Lan Zhuo^{1,c}, Jianpu Guo^{1,d}, Jialei Zhu^{1,e} and Jianping Xue^{2,f}

¹School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing, China

²Beijing Novel Medical Equipment Ltd., Beijing, China

^aguolifeng@bipt.edu.cn, ^bzhangfeiem@foxmail.com, ^c1173401126@qq.com,

^dguojianpu2015@163.com, ^ezhujialei@bipt.edu.cn, ^fxuejianping@novelmedical.cn

*Corresponding author

Keywords: SPECT, multi-axis motion control, CANopen, VRML, Modbus/TCP.

Abstract. In view of the multi-degree-of-freedom movement characteristics of SPECT, a distributed multi-axis motion control system based on fieldbus was developed. The multi-axis synchronous motion control function was achieved by using CANopen-based motion control technology. A double light curtain measurement method was adopted for the realization of human body contour tracking. The 3D virtual model of SPECT was established by using VRML technology. Combined with the sensor parameters of motion control system, the virtual model can reflect the equipment movement attitude in real time. The host PC communicates with the motion controller via Modbus/TCP protocol. Experiments show that the multi-axis motion control system can meet the SPECT imaging motion requirements.

人体SPECT多轴运动控制系统研制

郭丽峰^{1,a,*}, 张飞^{1,b}, 卓岚^{1,c}, 郭建璞^{1,d}, 朱加雷^{1,e}, 薛建平^{2,f}

¹北京石油化工学院机械工程学院, 北京, 中国

²北京永新医疗设备有限公司, 北京, 中国

^aguolifeng@bipt.edu.cn, ^bzhangfeiem@foxmail.com, ^c1173401126@qq.com,

^dguojianpu2015@163.com, ^ezhujialei@bipt.edu.cn, ^fxuejianping@novelmedical.cn

*通讯作者

关键词: SPECT; 多轴运动控制; CANopen; VRML; Modbus/TCP

中文摘要. 针对人体SPECT多自由度运动特点, 研制了一种基于现场总线的分布式多轴运动控制系统。采用基于CANopen的多轴运动控制技术实现多轴同步运动控制。基于双层光幕测量法, 实现人体轮廓运动跟踪。采用VRML技术建立SPECT运动机构三维虚拟模型, 结合运动控制系统传感器参数, 实时显示设备运动姿态。上位PC机与运动控制器之间采用Modbus/TCP协议进行通讯。实验表明多轴运动控制系统可以满足SPECT成像运动需求。

1. 引言

人体SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 单光子发射断层成像) 是一种先进的大型医学影像设备, 它通过复杂的机电系统驱动一个或多个探测器靠近或环绕人体

部位运动，探测注入体内的放射性示踪剂得到器官图像信息，广泛应用于多种疾病的诊断。为满足人体不同部位成像，SPECT设备具有多种成像模式，这使得通用型可变角SPECT设备的机械系统具有结构复杂，多自由度运动等特点。目前通用型可变角SPECT设备主要由GE、Philips、Siemens等少数公司掌握[1]。

本文以可变角双探测器人体SPECT多轴运动控制为研究对象，针对SPECT不同成像模式需求，开发了基于Ethernet和CANopen的分布式运动控制系统。

2. 运动模式分析

人体SPECT机械系统主要包括：基座，主回转体，XY向移动装置，探测器，床体等部分组成。SPECT主机架部分有7个自由度：主回转体绕Z轴的旋转运动；探测器1沿 x_1 、 y_1 轴的直线运动和绕 z_1 轴的旋转运动；探测器2沿 x_2 、 y_2 轴的直线运动和绕 z_2 轴的旋转运动。床体部分有2个自由度：沿 y_3 轴的升降运动和沿 z_3 轴的直线运动。

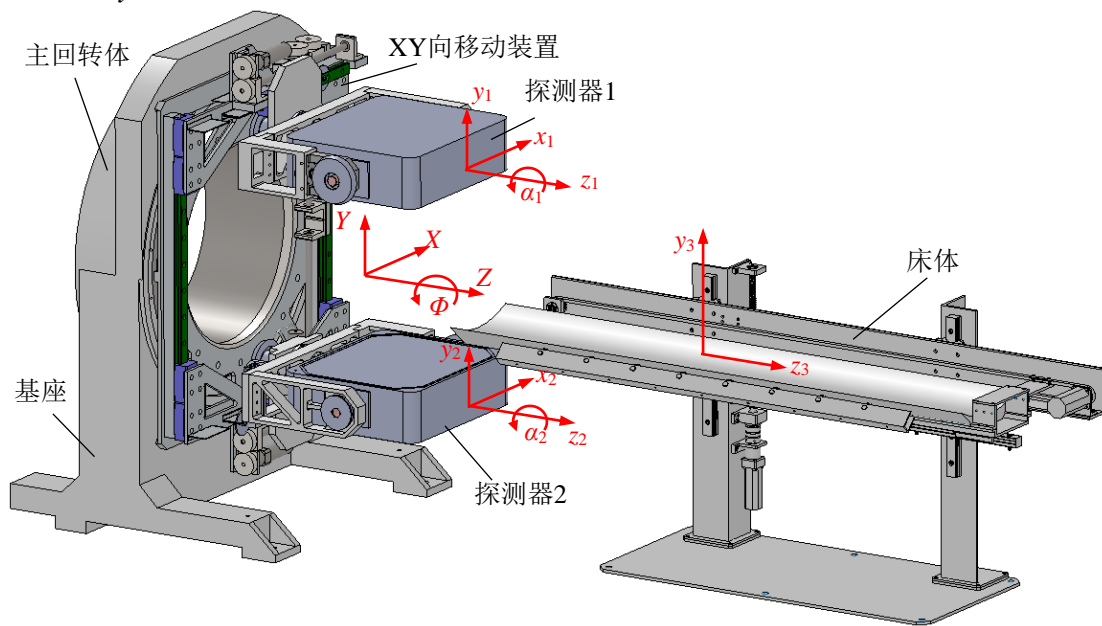


图1 人体SPECT机械运动系统组成

为满足人体不同部位的成像需求，SPECT有两种工作模式：90°工作模式和180°工作模式。两种模式的切换运动过程如图2所示。设备在复位的情况下为180°模式，如图2(a)所示。从180°模式转换90°模式时，首先主回转体逆时针旋转90°，同时探测器1绕 z_1 轴顺时针旋转45°，探测器2绕 z_2 轴逆时针旋转45°。然后，探测器1和探测器2同步竖向向上运动，到达最高点位置。最后，探测器1和探测器2相向横向平移至接近位置，转换为90°模式。由此可见，在SPECT设备的多轴运动控制系统中，既要求有平移、旋转等不同运动类型，又要在不同轴之间满足特定的同步运动关系。

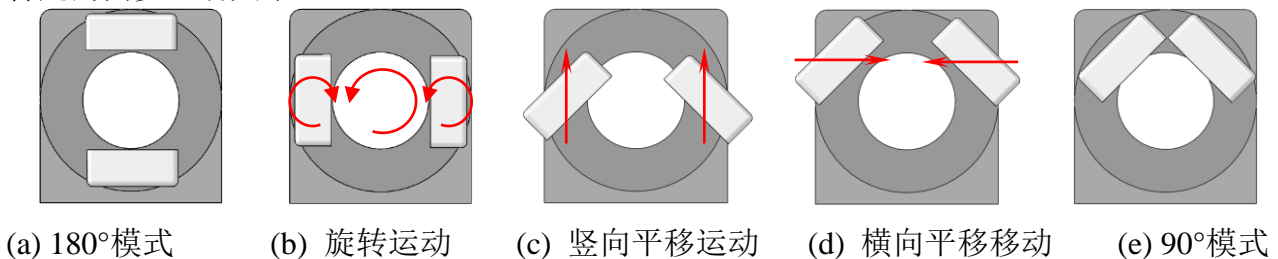


图2 人体SPECT成像模式切换运动

此外，为了降低人体内放射性示踪剂空间衰减对成像的影响，在采样过程中要求两个探测器应尽可能贴近人体表面，但不能接触。人体的不同部位具有不同的轮廓尺寸和形状，病人的非自主运动也会影响到人体轮廓在测量系统中的位置，这就要求SPECT运动控制系统具有人体轮廓检测和轮廓自动跟踪功能。

3. 硬件系统设计

根据SPECT设备多轴运动特点和临床使用需求，采用由上位机和下位机组成的总体控制方案。上位机功能为人机交互和运动模式规划，下位机负责控制各轴运动与同步、人体轮廓跟踪。上位机与下位机之间采用Modbus/TCP通讯方式，下位机采用基于CANopen的分布式多轴运动控制方案，基于CANopen DSP-402协议建立高效的多轴同步控制[2-4]。SPECT多轴运动控制方案如图3所示。

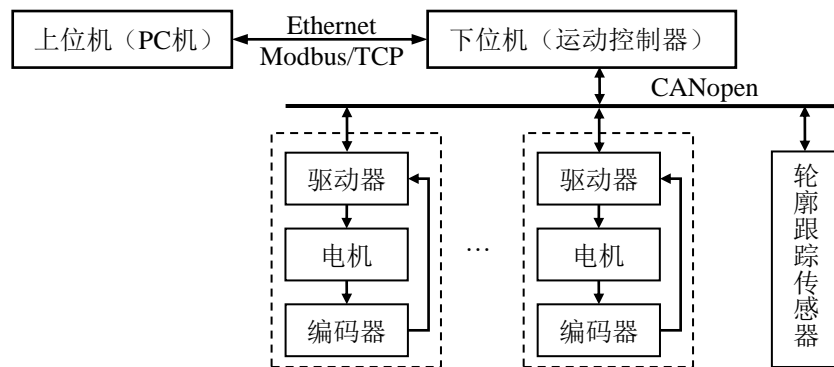


图3 人体SPECT多轴运动控制系统原理框图

上位机硬件采用高性能PC计算机，主要完成图形用户界面显示，运动控制参数输入，数据存储等功能。在下位机系统中，驱动电机选用具有良好控制性能的交流伺服电机。运动控制器选用Elmo公司Maestro网络型多轴运动控制器作为主控单元。该控制器与主机之间通过基于Ethernet TCP/IP的Modbus协议进行通讯，与驱动器之间通过基于CAN总线的CANopen协议进行通讯，支持DS301，DS305，DS 401和DS402标准协议。可实时控制高达16轴的同步运动控制。同步周期1ms，周期波动小于10μs。在程序设计方面，支持IEC-61131-3和C语言编程，并提供PLCopen运动控制接口。驱动电机选用交流伺服电机。驱动器选用Elmo公司的Guitar系列数字伺服驱动器。该驱动器提供电流环、速度环、位置环控制模式，支持CANopen DS 301，DS305，DS402通讯，与Maestro运动控制器配合，可方便组建分布式多轴同步运动控制系统。

为实现人体轮廓跟踪功能，采用基于光幕传感器的人体轮廓测量方案。其基本原理如图4所示。当光幕1、2均通光时，探测器向靠近人体方向运动；光幕1、2均遮光时，探测器向远离人体方向运动；光幕1遮光，光幕2通光时，探测器运动停止。光幕信号为数字信号，选用WAGO公司的CANopen现场总线适配器和DI模块进行信号采集。



图4 基于双层光幕传感器的人体轮廓测量原理

4. 软件系统设计

与硬件相对应，软件设计包括两部分：下位机软件和上位机软件。下位机软件用C语言程序开发，运行于运动控制器Maestro中，主要完成多轴运动控制、运动模式转换、人体轮廓跟踪等功能；上位机软件用LabVIEW语言开发，运行于PC机中，主要实现人机交互界面、运动规划、与下位机通讯等功能。

4.1 下位机软件设计

位于Maestro中的运动控制程序需要完成多项任务，如：接收上位机发送的运动指令，实现180°成像模式和90°成像模式运动控制，单轴运动控制，传感器状态采集，轮廓跟踪控制等。这些任务有些是独立进行的，有些需要同步或按一定顺序执行。为实现上述功能，下位机程序采用基于状态机的程序架构进行设计。

执行状态机的函数架构如图5所示。该函数为无限循环程序，由系统时钟定时触发执行。在执行过程中，状态机函数首先读取外部数据，从Modbus寄存器表读取上位机指令。然后，进入状态机处理程序。本设计中共涉及11个独立状态机，包括：轮廓跟踪状态机、用于多轴同步运动控制的复合运动状态机、单轴运动状态机、手动运动控制状态机等，各状态机并行执行。最后，将本次循环执行结果写入Modbus寄存器表，向上位机输出数据。

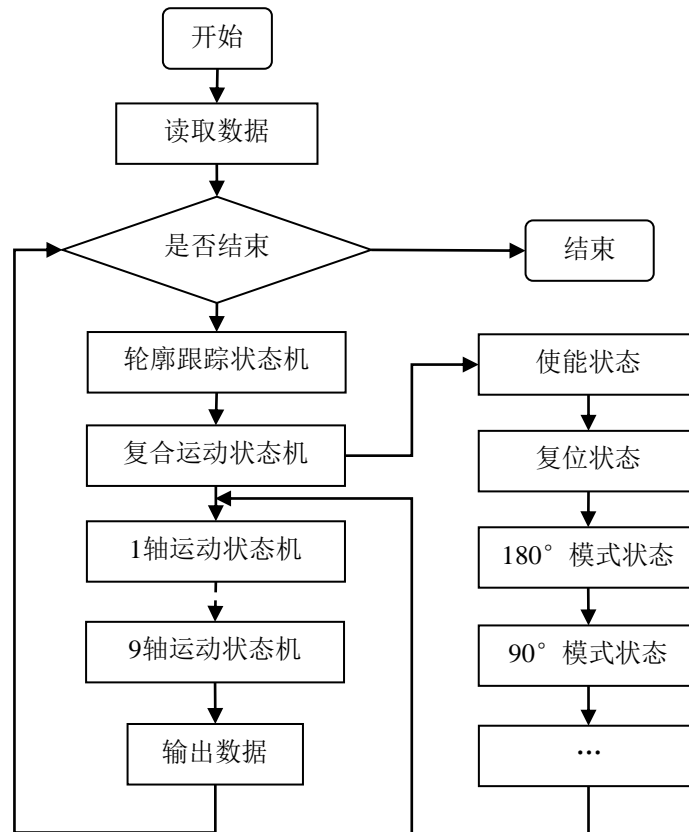


图5 多轴运动控制程序状态机函数流程图

4.2 上位机软件设计

上位机软件主要功能为人机交互界面、运动规划和与下位机通讯。

人机交互程序向用户和维护人员提供良好界面。为使操作者直观观察到SPECT设备运行状态，应用VRML (Virtual Reality Modeling Language) 技术，在LabVIEW中建立SPECT三维虚拟模型[5]。首先，在三维建模软件中建立SPECT设备基本运动组件的三维模型，将其保存为VRML格式文件；然后，在LabVIEW中调用3D Pictures函数Load VRML File.vi，将各运动

组件加载到LabVIEW中。根据各组件在SPECT设备中的位置关系，通过Create Object.vi、Scale Object.vi、Set Translation.vi、Set Rotation.vi等函数进行装配，最终在3D Picture控件中显示完整的SPECT设备三维虚拟模型。根据采集到的SPECT设备各轴运动参数，通过调用Set Translation.vi、Set Rotation.vi函数设置三维虚拟模型中对应部件的运动姿态，使其实时显示设备的运动状态。

人机交互程序主界面如图6所示，界面左侧为SPECT设备的三维虚拟模型，右侧为运动控制相关控件。根据成像操作和设备姿态调整需求，可选择“复合运动模式”和“单轴运动模式”进行运动规划，如180°模式与90°模式切换，探测器旋转、平移等。

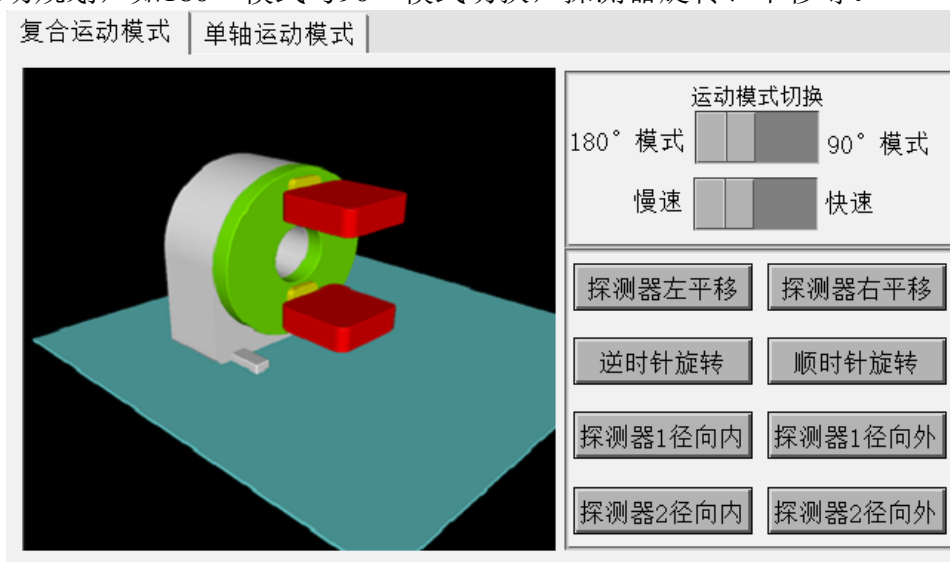


图6 上位机人机交互程序主界面

LabVIEW上位机软件与运动控制器之间通过Modbus/TCP协议进行通信。Modbus服务器运行于Maestro运动控制器中，上位机作以Modbus Slave方式，读写运动控制器中的Modbus寄存器表，实现运动控制和设备状态监测。LabVIEW读写Modbus寄存器数据的基本程序如图7所示。

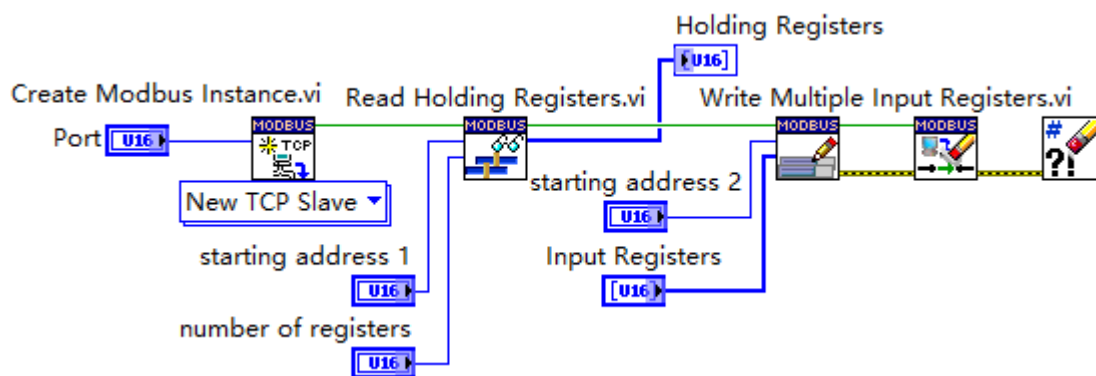


图7 Modbus/TCP通讯程序

5. 实验验证

为验证SPECT多轴运动控制系统的可行性，在SPECT实物原理样机上进行测试实验。图8(a)为180°运动模式人体轮廓跟踪实验，图8(b)为90°模式人体轮廓跟踪实验。实验结果表明所研制的多轴运动控制系统可以达到SPECT设备成像要求技术指标。

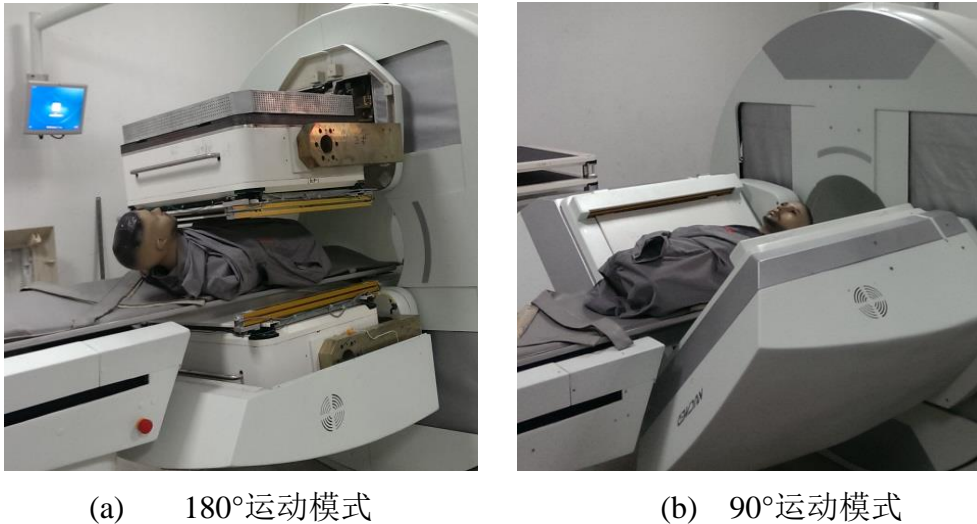


图8 人体SPECT多轴运动控制实验

6. 结束语

采用Ethernet/IP和CANopen总线技术,研制了SPECT多轴运动控制系统。基于状态机程序框架开发了下位机多轴运动控制程序,实现了180°成像运动模式、90°成像运动模式、单轴运动控制等控制功能。采用虚拟仪器和VRML技术开发了上位机人机交互程序。实验表明,所研制的多轴运动控制系统可以成功满足SPECT各种成像模式需求。

致谢

本文为北京市教育委员会市属高校创新能力提升计划项目“大型医学影像设备SPECT机电系统研制”(编号:TJSHG201310017035)的阶段性成果之一。

References

- [1] TIAN Rongbing, GUO Lifeng, ZHANG Chaojian, et al. Structural Design and Analysis for the Gantry of Large Medical Imaging Equipment SPECT, *New Technology & New Process*, (7), pp. 22-24, 28, 2015.
- [2] Yang Guangyou, Tang Zongmei, Ma Zhiyan. Research on distributed multi-axis motion control system based on canopen, *Key Engineering Materials*, vol. 579-580, pp. 680-685, 2014.
- [3] Zhang Yuxiao, Zeng Xianqun, Wang Xinjie, et al. Distributed control system design for quadruped robot based on CAN open network, *Proceedings - 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, vol. 1, pp. 633-636, 2011.
- [4] GUO Lifeng, CHEN Ken, ZHAO Dan-pu, et al. Study on a wheel-legged hybrid mobile robot, *Manufacturing Automation*, vol. 31, (10), pp.1-6, 2009.
- [5] GUO Lifeng, CHEN Ken, WU Dan, et al. LabVIEW-based human-computer interaction system for a wheel-legged robot, *Microcomputer Information*, vol. 26, (7), pp. 16-17, 12, 2010.